Aus dem Anatomischen Institut der Universität Düsseldorf
Lehrstuhl IV, Direktor: Prof. Dr. med. Gottfried Arnold

POLARISATIONSOPTISCHE AUTOMATISCHE ON-LINE LICHTANALYSE

Ein Meßverfahren für die histologische, biomechanische und kristallographische Untersuchung von Geweben und Körperflüssigkeiten.

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf, vorgelegt von

KLAUS DRESING
MICHAEL BREDENBRÖKER

1983

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543905_0028

Aus dem Anatomischen Institut der Universität Düsseldorf
Lehrstuhl IV, Direktor: Prof. Dr. med. Gottfried Arnold

POLARISATIONSOPTISCHE AUTOMATISCHE ON-LINE LICHTANALYSE

Ein Meßverfahren für die histologische, biomechanische und kristallographische Untersuchung von Geweben und Körperflüssigkeiten.

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf,
vorgelegt von

KLAUS DRESING
MICHAEL BREDENBRÖKER
1983

Promoviert am 8. Februar 1984

Gedruckt mit Genehmigung
der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

Der Dekan
der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf gez. Prof. Dr. H.Th. Brüster

Referent gez. Prof. Dr. G. Arnold

Koreferent gez. Prof. Dr. H.G. Goslar

VORWORT

Ohne die vielfältige und tatkräftige Unterstützung von Freunden und Bekannten aus dem außeruniversitären Bereich wäre die Entwicklung und Fertigstellung der Anlage PAOLA (Polarisationsoptische - Automatische - On-line - Licht - Analyse) in der jetzigen Form sicher nicht möglich gewesen.

Unser ganz besonderer Dank gilt:
Herrn Oberstudiendirektor Heinz Dresing;
Herrn Dipl.-Ing., M.Arch. Dieter Dresing;
Herrn Arnold Polonyi, Werkstattoberlehrer, AGS Löhne;
Herrn Gerhard Westhoff, Werkstattoberlehrer, AGS Löhne;
Herrn Dipl.-Ing. Hans-Ulrich Scheufele, Fa. INEC, Stuttgart
sowie
Herrn Dipl.-Ing. Peter Stemann, Fa. SRS - Stemann Rechnergestützte Systeme, Mönchengladbach.

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort

1. Einleitung

2. Stand der Forschung

3. Problemdarstellung und Zielsetzung

4. Physikalische Grundlagen der Polarisation

4.1 Natürliches, unpolarisiertes Licht

4.2 Polarisiertes Licht

4.2.1 Linear polarisiertes Licht

4.2.2 Elliptisch polarisiertes Licht

4.2.3 Zirkular polarisiertes Licht

4.3 Möglichkeiten zur Erzeugung von polarisiertem Licht

4.3.1 Polarisation durch Reflexion

4.3.2 Polarisation durch Doppelbrechung

4.3.2.1 Vorzeichen der Doppelbrechung

4.3.2.2 Intensität der Doppelbrechung

4.3.2.3 Doppelbrechung bei biologischen Materialien

4.3.2.3.1 Formdoppelbrechung

4.3.2.3.2 Eigendoppelbrechung

4.3.2.3.3 Gesamtdoppelbrechung

4.3.3 Polarisation durch Lichtbrechung und Absorption in anisotropen Kristallen

4.4 Analyse von polarisiertem Licht

4.5 Optische Isotropie und Anisotropie

4.6 Optische Aktivität

5.	Bausteine der Anlage PAOLA
5.1	Übersicht
5.2	Der Monochromator
5.3	Der Schrittmotor
5.4	Xenonlampe
5.5	Das Getriebe
5.6	Halterungen
5.6.1	Monochromatorhalterung
5.6.2	Schrittmotorhalterung und Getriebehalterung
5.7	Polarisatorhalterung
5.7.1	Aufbau der Polarisatorhalterung
5.7.2	Polarisator
5.7.3	Antriebsadapter
5.7.4	Polarisatormotor
5.7.5	Näherungsschalter
5.7.5.1	Prinzip der Näherungsschalter
5.7.5.2	Verwendete Näherungsschalter
5.7.5.3	Anordnung der Kontaktstifte für die Näherungsschalter
5.7.5.4	Vorteile der Näherungsiniatoren
5.8	Das Mikroskop
5.8.1	Analysatorhalterung
5.8.2	Analysator
5.8.3	Objektiv
5.8.4	Verdunkelung
5.8.5	Fotodokumentation
5.9	Physikalische und technische Grundlagen des Photomultipliers
5.9.1	Photoeffekt und Sekundäremissionsfaktor

5.9.2 Aufbau des Photomultipliers

5.9.3 Charakteristika der Photomultiplier

5.9.4 Einflußgrößen auf SEV-Messungen

5.9.5 Eigenschaften des verwendeten Photomultipliers

5.10 Der Rechner und seine Peripherie

5.10.1 Versatile Interface Adapter

5.10.2 Kontrollfunktionen

5.10.3 Prüf- und Kalibrierroutine

5.10.4 Datasette

5.10.5 Stromversorgung der Zentraleinheit

5.10.6 Drucker

6.0 Funktionsablauf

6.1 Zentraleinheit und Peripherie

6.2 Der Ablauf

7. Programmablaufplan

8. Aufzeichnung und Auswertung der Meßdaten

8.1 Leerwerterstellung

8.2 Meßwerterstellung

8.3 Erstellung des korrigierten oder realen Meßwertes

9. Fehlermöglichkeiten und deren Verringerung

9.1 Statistische Meßfehler

9.1.1 Instrumentfehler

9.1.1.1 Fehler der Xenonlampe

9.1.1.2 Fehlermöglichkeiten beim Monochromator

9.1.1.3 Fehler beim Schrittmotor und beim Getriebe

9.1.1.4 Fehler beim Polarisator

9.1.1.5 Fehler bei den Näherungsiniatoren

9.1.1.6 Mikroskopfehler

9.1.1.7 Fehler beim Photomultiplier

9.1.1.8 Einflußgrößen auf den Rechner

9.1.1.9 Fehler beim Übertragen und Speichern der Meßwerte

9.1.1.10 Abschlußbetrachtung der Instrumentfehler

9.1.2 Ablesefehler

9.1.3 Beeinflussungen durch natürliche Variationen des Untersuchungspräparates

9.1.4 Fehler bei Wiederholungsmessungen

9.1.5 Zusammenfassung der statistischen Fehler

9.2 Systematische Fehler

9.2.1 Systematische Fehlermöglichkeiten bei den einzelnen Bausteinen der Anlage PAOLA

9.2.1.1 Fehler bei den Lichtquellen

9.2.1.2 Fehlermöglichkeiten am Monochromator

9.2.1.3 Fehlermöglichkeiten am Schrittmotor

9.2.1.4 Fehlermöglichkeiten am Mikroskop

9.2.1.5 Systematische Fehler beim Photomultiplier

9.2.1.6 Fehler beim Abspeichern der Daten

10. Anwendungsbeispiel Benzil

10.1 Eigenschaften von Benzil

10.2 Versuchsdurchführung

10.3 Ergebnisse

10.3.1 Numerische und graphische Darstellung des Leerwertes

10.3.2 Numerische und graphische Darstellung Benzil (unkorrigierte Werte)

10.3.3 Numerische und graphische Darstellung Benzil (korrigierte Werte)

11. Diskussion

12. Zusammenfassung

Anhang

Tabelle 01 Schrittmotordaten

Tabelle 02 Vergleichstabelle der Winkelschritte zu den Wellenlängenskalen mit Korrekturangaben einzelner Wellenlängen

Tabelle 03 Eigenschaften der Photokathode S 20

Erklärungen von Fachbegriffen

Literaturverzeichnis

1. EINLEITUNG

Der Einsatz der Elektronischen Datenverarbeitung (EDV) hat in den letzten zwei Jahrzehnten Einzug in viele Bereiche der Medizin gehalten. Zahlreiche diagnostische und therapeutische Eingriffe sind erst durch den Einsatz von Mikrocomputern oder auch integrierten Schaltkreisen möglich geworden. Weiterhin konnten viele Tätigkeiten in der Medizin vereinfacht und exakter ausgeführt werden, als dies vor dem Einzug der Elektronik in den medizinisch-technischen Bereich möglich war. Die Reproduzierbarkeit ließ sich verbessern. So haben z.B. Untersuchungen der Positronen-, Röntgen- und Kernspinresonanztomographie in den letzten Jahren zunehmend diagnostische Möglichkeiten verbessert, u.a. bei der Tumorsuche. Früher war dies im wesentlichen nur mit invasiven Methoden möglich. Die Kernspinresonanztomographie als eines der genannten Verfahren ist einerseits ein nichtinvasives Verfahren, andererseits zeigt es aber auch den Vorteil, daß mit Einsetzen dieses Verfahrens keinerlei Strahlenbelastung verbunden ist, da keine ionisierenden Strahlen eingesetzt werden (HABERMEHL und GRAUL 1982).

Die Labormedizin ist mit Einsatz der Elektronik exakter und einfacher geworden. Langwierige Analyseprozesse konnten mit Hilfe der Elektronik verkürzt werden.
Die Überwachung von Patienten auf Intensivstationen (Monitoring) ist ohne computergestützte Systeme mit der heute geforderten Genauigkeit und Sicherheit nicht mehr möglich.

Die mikroskopische Erhebung von Befunden ist in der Pathologie und Histologie noch weitgehend an morphologische Beobachtungen und Untersuchungen gebunden. Immun- und Immunfluoreszenzuntersuchungen, Färbungen u.ä. führten schon zu wesentlichen Unterscheidungsmöglichkeiten und Verbesserungen der Diagnostik.

Die Polarisationsmikroskopie erbrachte Unterscheidungsmöglichkeiten verschiedener doppelbrechender Substanzen. Färbungen konnten die Polarisationseffekte verstärken oder z.T. überhaupt erzeugen (s. Kapitel 2). Eine weitgehende Automatisierung der Polarisationsmikroskopie steht aber noch aus.

Der Einsatz von elektronischen Bauteilen in der Polarisationsmikroskopie, z.B. der Einsatz von Sekundärelektronenvervielfachern (SCHEUNER 1972), führt schon zu einer Erhöhung der Genauigkeit der Messungen. So konnten immer kleinere Doppelbrechungseffekte der submikroskopischen Struktur von Substanzen erfaßt werden (s. Kap. 2).

Serienuntersuchungen beispielsweise an pathologisch veränderten Bindegewegsstrukturen mittels der Polarisationsmikroskopie erscheinen nur dann sinnvoll, wenn die Messungen nahezu vollkommen automatisiert sind, und ein hoher Grad an Genauigkeit erreicht wird. Eine Vergleichbarkeit verschiedener Meßreihen sollte mit hoher Reliabilität möglich sein.

Im folgenden soll das von uns entwickelte und gebaute Meßsystem PAOLA (Polarisationsoptische Automatische

On-line Licht-Analyse) vorgestellt werden. Unter Einsatz moderner Elektronik ermöglicht dieses Meßsystem eine automatisierte Polarisationsmikroskopie mit hoher Genauigkeit, Meßwertspeicherung und mathematisch-statistischer Auswertung der Meßdaten. Neben der Darstellung der Anlage PAOLA soll an einem Beispiel der Einsatz des Meßverfahrens verdeutlicht werden.

2. STAND DER FORSCHUNG

E. BARTHOLINUS entdeckte im Jahre 1670, daß jeder Lichtstrahl, wenn er isländischen Kalkspat passiert, sich in zwei Strahlen aufteilt. Damit war eine Grundlage für die Erklärung der Doppelbrechung des Lichtes gegeben.

Der holländische Physiker C. HUYGENS hatte 1678 die Hypothese vom Wellencharakter des Lichtes erstellt. Damit hatte er die Auffassung von I. NEWTON (1730) erweitert, der Licht einzig als einen Strom elastischer Partikelchen auffaßte.

HUYGENS betrachtete die Lichtwellen als Longitidinalwellen mit vollkommener Symmetrie um die Fortpflanzungsrichtung. E.L. MALUS zeigte 1808, daß die Lichtbrechung von der Richtung des einfallenden Lichtstrahles abhängig ist. Er stellte fest, daß Licht, welches einmal an einem durchsichtigen Medium reflektiert worden ist, seine Symmetrie um die Fortpflanzungsrichtung als Achse einbüßt. Solches Licht verhält sich also anders als "natürliches Licht" - es hat eine "Seitlichkeit" (Polarisation).

D. BREWSTER beschrieb 1815 ein Gesetz, wonach der zur Erlangung von Lichtpolarisation durch Reflexion erforderliche Winkel vom Brechungsindex des brechenden Mediums abhängig ist (s. Anhang Brewstersches Gesetz).

W. NICOL erfand 1828 das nach ihm benannte Prisma, den ersten leistungsfähigen Polarisator als Grundlage für die experimentelle Beschäftigung mit der Polarisationsmikroskopie.

Die Polarisationsmikroskopie darf heute als eine wesentliche Methode zur Erforschung des submikroskopischen Aufbaus polarisierender Substanzen bezeichnet werden. Sie kommt auf indirektem Wege zu Aussagen über die submikroskopische Struktur beispielsweise biologischer Objekte (TAUBERT 1977). Im Gegensatz dazu kommt die Elektronenmikroskopie durch direktes Betrachten, also auf direktem Wege, zu Aussagen über die Mikrostruktur der Untersuchungsobjekte.

Die Polarisationsmikroskopie gestattet bei möglichst genauer Analyse der Veränderung des durch das Objekt tretenden Lichtes Angaben zu Molekularstrukturen, die unterhalb der Auflösungsgrenze des Elektronenmikroskopes liegen können (SCHEUNER und HUTSCHENREITER 1975).
In der Untersuchung der Ultrastruktur und damit in der Möglichkeit der eindeutigen Identifikation polarisierender Substanzen liegt eine wesentliche Bedeutung der Polarisationsmikroskopie. Dieser Vorteil der Polarisationsmikroskopie kommt in der wissenschaftlichen Forschung unserer Tage auf breiter Ebene zu Anwendung.
Die eindeutige Identifikation doppelbrechender Substanzen in Körperflüssigkeiten oder Geweben stellt einen großen Fortschritt in der medizinischen Diagnostik dar. So ist es möglich, mit Hilfe der Polarisationsmikroskopie in der Synovialflüssigkeit eindeutig die Differentialdiagnose zu stellen, zwischen der Arthritis urica (Gicht) und der Chondrocalcinosis articularis (Pseudogicht) anhand einerseits negativer und andererseits positiver Doppelbrechung der Kristalle in Bezug auf ihre Länge (G. TAUBERT 1977, T.J. FAGAN und M.D. LIDSKY 1974).

Die

differentialdiagnostische Abgrenzung der Gicht- und Pseudogichtkristalle von intraartikulär applizierten Prednisonkristallen ist ebenfalls mit Hilfe der Polarisationsmikroskopie möglich (STIEHL et al. 1976).

WOLMAN zeigte 1975 einen einfachen Weg der Unterscheidung zwischen aktiven nekrotischen und inaktiven vernarbten Tuberkuloseherden im Schnellschnitt, indem das doppelbrechende Kollagen im vernarbten Tuberkuloseherd polarisationsoptisch nachgewiesen wird.

Der Nachweis von doppelbrechenden Kristallen unter dem Polarisationsmikroskop erleichtert die Unterscheidung von Fremdkörpergranulomen gegenüber anderen granulomatösen Erkrankungen. Bei der weiteren Differenzierung der Granulome kann polarisationsoptisch z.B. Berylliose von der Sarkoidose unterschieden werden (WOLMAN 1975).
HICHING beschreibt 1979 den Einsatz der Polarisationsmikroskopie bei der qualitativen Analyse von Harnsteindünnschliffen.

MISSMAHL erarbeitete 1957 die polarisationsoptische Unterscheidung zwischen Kollagenfasern und Retikulinfasern.
1967 führten TONNA und HATZEL den Beweis, daß sich die Polarisation des Kollagens mit zunehmendem Alter durch Strukturveränderungen wandelt.
Weitere Einsatzgebiete und Beispiele finden sich bei WOLMAN (1975).

Ein wesentlicher Fortschritt bei der Anwendung polarisationsoptischer Untersuchungen war die Erkenntnis, daß die Färbung mikroskopischer Präparate die Doppelbrechung ver-

stärkt oder umgekehrt erst herbeiführt, wenn sich der Farbstoff an gerichtete Strukuren anlagert oder durch die Farbstoffanlagerung eine gerichtete Strukur entsteht. VON EBNER entdeckte 1894, daß die Anlagerung von Phenol das Vorzeichen der Doppelbrechung kollagener Fasern umkehrt. Ursächlich liegt diesem Effekt, der als "EBNERSCHE Phenolreaktion" bekannt ist, die orientierte Anlagerung von Phenol an die hydrophilen Seitenketten des Kollagens zugrunde.

Reaktionen dieser Art wurden von ROMHANYI (1969) als topooptische Reaktionen bezeichnet. Dabei wird bei den topooptischen Reaktionen die Doppelbrechung verstärkt, während bei den inversiven Reaktionen die induzierte Doppelbrechung ein entgegengesetztes Vorzeichen hat.
Mit Hilfe dieser Reaktion sind Aussagen zum Alter der kollagenen Fasern (SCHEUNER und HUTSCHENREITER 1972) sowie auch Aussagen über pathologische Veränderungen an kollagenen Fasern möglich (MISSMAHL 1964). Die Phenolreaktion ist für Kollagen relativ spezifisch, jedoch können auch andere Faserproteine unter bestimmten Bedingungen die gleiche Reaktion ergeben (SCHEUNER und HUTSCHENREITER 1972).
Eine für Bindegewebsstrukturen, insbesondere für Kollagen und Retikulin geeignete additive Reaktion stellt die Färbung mit "Picro-Siriusrot F 38A" dar, die zu einer ausgeprägten Doppelbrechung führt (PUCHTLER et al. 1973). Doch auch schon die üblichen Routinefärbungen der histologischen Diagnostik können einen solchen Effekt zeigen (TAUBERT 1977).

Amyloidhaltige Strukturen, die sich im Mischlicht mit Kongorot rot anfärben, zeigen zwischen gekreuzten Polarisatoren eine grüne, anormale Polarisationsfarbe. Das Auftreten dieses Phänomens dient zum selektiven Nachweis geringster Mengen von Amyloid im Gewebe und läßt die Unterscheidung zwischen Amyloid und Kollagen zu. Diese beiden Stoffe haben unter Mischlicht gleiches Aussehen. Der Effekt kommt zustande durch Anlagerung von Kongorot an parallel zueinander liegende Amyloidfibrillen (RHOMHANYI 1943, 1949; MISSMAHL und HARTWIG 1953).

Ein mit der Phenolreaktion vergleichbarer Effekt für Kollagen, der spezifisch für Kollagen sein soll, zeigt sich in der Tatsache, daß Tannin die Eigenschaft hat, das Vorzeichen der Eigendoppelbrechung kollagener Fasern irreversibel von positiv nach negativ umzukehren (KÜNTZEL 1925).

Ein weiterer Fortschritt auf dem Wege der exakten Erfassung selbst kleinster Polarisationseffekte war die Kombination von Polarisationsmikroskop und elektronischem Lichtverstärker (SCHEUNER 1972). Beruhten die herkömmlichen Methoden der Registrierung der Helligkeitsunterschiede im Polarisationsmikroskop allein auf der subjektiv variablen spektralen Empfindlichkeit des menschlichen Auges, so gelang es, mit der Einführung des Sekundärelektronenvervielfachers (Photomultiplier) bestimmte Phasen des Meßvorganges zu objektivieren (s.a. Kap. 5.9). So konnte SCHEUNER (1972) mit Hilfe eines Photomultipliers die exakte Kreuzung der Polarisatoren mittels eines Galvanometerausschlages

unabhängig von der spektralen Sensitivität des menschlichen Auges einstellen und auf diese Weise Gangunterschiede bei verschiedenen Proben untersuchen.

SWANN und MITCHISON (1950) beschrieben eine weitere Methode zur Erfassung kleinster Doppelbrechungseffekte mit Hilfe eines hochempfindlichen Mikroskopdensitometers. Die Doppelbrechung eines gut orientierten Proteins war bei etwa molekularer Dicke mit dieser Methode erfassbar.

ALLEN und Mitarbeiter (1963, 1966) beschrieben ein Doppelbrechungsnachweissystem ("Birefringence-Detection-system" (BDS)) zur automatischen Erfassung doppelbrechender Effekte. Sie untersuchten sich schnell verändernde Doppelbrechungserscheinungungen an lebenden Geweben.

Mit dem Einsatz elektronischer Bauteile und der Automatisierung der Polarisationsmikroskopie konnten die Meßvorgänge wesentlich objektiviert werden.

3. PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG

Die Charakterisierung von biologischen Objekten oder auch nicht biologischen Substanzen erfordert oft einen langwierigen und aufwendigen Präparations- und Verarbeitungsprozeß z.T. unter Zerstörung des Materials bis eine qualitative oder quantitative Bestimmung erfolgen kann. Es können chemische, biochemische, histochemische, physikalische oder auch immunologische Vorgänge ablaufen, bis es zur Bestimmung kommt.

Wie oben ausgeführt zeigen sehr viele Stoffe polarisationsoptische Phänomene. Z.T. kann bei wenig polarisierenden bzw. nicht polarisierenden Objekten durch Farbstoffanlagerungen die Polarisation verstärkt oder sogar erzeugt werden.

Mit der Entwicklung eines eigenen Meßverfahrens auf der Grundlage der optischen Gesetze der Polarisation setzten wir uns das Ziel, mit physikalischen Methoden nichtinvasiver Art anorganische, organische und biologische Stoffe im Nativzustand und in Präparaten zu charakterisieren. Ausgehend von der Tatsache, daß sich Polarisationsphänomene mit der Wellenlänge ändern (optische Rotationsdispersion, Circulardichroismus, s. Kapitel 4), sollte das Verhalten über einen größeren Wellenlängenbereich beobachtet werden. Unter standardisierten Bedingungen sollten "Polarisationskurven" bzw. Meßwerte aufgezeichnet werden, die sich zur Unterscheidung und Quantifizierung der einzelnen Stoffe oder Gewebsanteile eignen.

Um zu vergleichbaren Meßwerten unterschiedlichster Stoffe zu gelangen, muß das zu schaffende Meßsystem verschiedene Voraussetzungen erfüllen:

- es muß unter standardisierten Bedingungen gemessen werden können.
- die Meßergebnisse müssen exakt sein, sie müssen unabhängig sein von menschlichen Fehlern, z.B. Ablesefehlern.
- die Ergebnisse müssen reproduzierbar sein.
- die Meßergebnisse müssen graphisch und numerisch aufgezeichnet werden können.
- die Meßwerte müssen zum Vergleich anderer Meßreihen zur Verfügung stehen (Datensicherung).
- das Meßsystem sollte bedienerfreundlich sein.
- eine weitgehende Automatisierung muß gewährleistet sein.
- die Ausbaumöglichkeit der Meßeinrichtung muß gewährleistet sein.

4. PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN DER POLARISATION

4.1.NATÜRLICHES, UNPOLARISIERTES LICHT

Natürliches Licht entsteht aus einer sehr großen Anzahl zufällig im Raum orientierter Atome, die jedes für sich während einer kurzen Zeitspanne von 10^{-8} Sekunden eine polarisierte Welle aussenden. Alle Emissionen der gleichen Frequenz formen dabei eine polarisierte Welle.
Neue polarisierte Wellen werden konstant mit der Geschwindigkeit von 10^{-8} Sekunden emittiert. Die Mischung aller polarisierten Wellen der verschiedensten Frequenzen, in der einzelne polarisierte Wellen nicht mehr zu unterscheiden sind, werden als natürliches Licht bezeichnet.
Dieses natürliche Licht wird auch als "unpolarisiertes Licht" bezeichnet (HECHT 1974)

Licht läßt sich als Teilchen (Lichtquant, Photon) oder als elektromagnetische, transversale Wellenbewegung auffassen. Dabei verteilt sich der Endpunkt des elektrischen und also auch des magnetischen Vektors völlig unsystematisch, das heißt ohne bevorzugte Richtung im Raum (THEODORAKIS 1979).

4.2 POLARISIERTES LICHT

Beim polarisierten Licht liegen die Schwingungen des elektrischen Feldes in einer Ebene und die magnetischen Schwingungen stehen auf dieser Ebene senkrecht. Die Ebene, die senkrecht zum elektrischen Feld steht, wird Polarisationsebene genannt. Das Licht in dieser Ebene ist

polarisiert (KEITZ 1951). Polarisiertes Licht ist die einfachste Form von Licht, da der Lichtvektor immer in einer bestimmten Richtung verläuft (SHEWANDROW 1973).

4.2.1. LINEAR POLARISIERTES LICHT

Licht ist linear polarisiert, wenn der Endpunkt des Lichtvektors in einer definierten Ebene schwingt, die sich räumlich und zeitlich nicht verändert.

4.2.2. ELLIPTISCH POLARISIERTES LICHT

Licht ist elliptisch polarisiert, wenn der Lichtvektor in einer Ebene zur Ausbreitungsrichtung der Lichtquelle senkrechten Ebene schwingt, wobei sich aber die Ebene mit gleichbleibender Winkelgeschwindigkeit dreht. Dabei beschreibt der Endpunkt des Lichtvektors im Laufe der Zeit eine Ellipse.

4.2.3. ZIRKULAR POLARISIERTES LICHT

Das zirkular polarisierte Licht ist ein Spezialfall des elliptisch polarisierten Lichtes. Der Endpukt des Lichtvektors durchläuft einen Kreis (POHL 1967). Lineare, kreisförmige und elliptische Polarisation sind die drei Grundarten der Polarisation. Dabei schließt die elliptische die beiden anderen als Spezialfälle ein. Bei einer Elliptizität von Null ergibt sich lineare, bei einer Elliptizität von eins die kreisförmige Polarisation (SHEWANDROW 1973).

4.3. MÖGLICHKEITEN ZUR ERZEUGUNG VON POLARISIERTEM LICHT

Polarisiertes Licht kann durch Reflexion, Doppelbrechung, Streuung oder durch Lichtbrechung und Absorption in anisotropen Körpern entstehen.

4.3.1. POLARISATION DURCH REFLEXION

Fällt Licht unter dem Polarisationswinkel des Glases (57 Grad nach Brewster) auf eine ebene Glasfläche, so ist der reflektierte Strahl polarisiert. Die Polarisationsebene liegt dabei in der Einfallsebene, auf der der Lichtvektor senkrecht steht (linear polarisiertes Licht). Die Strahlungsmenge des reflektierten Strahles macht im allgemeinen nur einen Bruchteil der einfallenden Lichtmenge aus. Bei dem nach William Nicol benannten Polarisator wird das ordentliche Lichtbündel durch Totalreflexion an einem in schräger Richtung durchschnittenen und durch eine durchsichtige Schicht Kanadabalsam getrennten Kalkspatstück totalreflektiert. Das ordentliche Lichtbündel verläßt das Nicol-Prisma linear polarisiert (s. Kap. 4.3.2.). Das Nicol-Prisma hat einen rautenförmigen Querschnitt. Eine Verbesserung stellt der Polarisator nach Glan-Thompson dar, dessen Endflächen senkrecht zur Längsachse stehen. Der Vorteil liegt darin, daß der durchgelassene Teilstrahl in diesem Polarisator nicht seitlich versetzt wird, wie dies im Nicol-Prisma der Fall ist. Der Glan-Thompson Polarisator ist somit um eine gerade Achse drehbar.

4.3.2 POLARISATION DURCH DOPPELBRECHUNG

Die Doppelbrechung des Lichtes ist eine allgemeine Eigenschaft der Kristalle. Die Geschwindigkeit des Lichtes ist in "normalen" Materialien unabhängig vom elektrischen Vektor. In doppelbrechenden Materialien ist die Geschwindigkeit des Lichtes relativiert zur Richtung des elektrischen Vektors und den optischen Achsen. Alle Stoffe mit einer bestimmten Orientierung, die teilweise oder völlig anisotrop sind (s.a. Kapitel 4.5.1) und Dichroismus aufzeigen, zeigen in gewissem Grade auch Doppelbrechung.
Fällt ein Lichtstrahl senkrecht auf eine anisotrope Kristallseitenfläche, so wird der Lichtstrahl aufgespalten. Ein Strahl geht gerade durch den Kristall (ordentlicher Stahl). Der andere wird nach der Seite abgelenkt (außerordentlicher Strahl). Der Ablenkwinkel ist wellenlängenabhängig.
Beim außerordentlichen Strahl ist der elektrische Vektor in paralleler Anordnung zur optischen Achse. Der elektrische Vektor des ordentlichen Strahles steht in 90 Grad zur optischen Achse. Dieses Phänomen wird Doppelbrechung genannt.
Der eindringende Strahl ist also in 2 Strahlen zerlegt, die in 2 aufeinander senkrecht stehenden Ebenen polarisiert sind.
Die austretenden Strahlen haben gleiche Frequenz aber unterschiedliche Fortpflanzungsgeschwindigkeiten. Sie haben somit eine Phasendifferenz. Die Geschwindigkeit ist nur in Richtung der kristallographischen Achse, d.h. längs der optischen Achse gleich.

Das menschliche Auge kann nur Frequenz (Farben) und Intensitäten (Helligkeiten) erkennen. Da diese im doppelbrechenden Material nicht verändert werden, besteht für das menschliche Auge keine Veränderung. Bringt man jedoch ein doppelbrechendes Material zwischen zwei gekreuzte Polarisatoren, so erscheint das doppelbrechende Material vor dunklem Untergrund aufgehellt.

4.3.2.1 VORZEICHEN DER DOPPELBRECHUNG

Die Doppelbrechung erhält ein positives Vorzeichen, wenn der Brechungsindex der linear polarisierten Teilwelle, die parallel zur Kristallängsachse schwingt, größer ist als diejenige Teilwelle, die senkrecht zur Längsachse polarisiert ist (TAUBERT 1977). Verhält sich der Brechungsindex entsprechend kleiner, so erhalten wir ein negatives Vorzeichen. Bei biologischen Objekten wird ein relatives Vorzeichen gesetzt. Dieses Vorzeichen wird bezogen auf die morphologische Achse, z.B. auf die Faserlängsachse einer Kollagenfaser wie von SCHEUNER (1972) beschrieben. Denn die optische Achse biologischer Objekte ist oft schlecht zu ermitteln.

4.3.2.2 INTENSITÄT DER DOPPELBRECHUNG

Die Intensität der Doppelbrechung ist abhängig vom Betrag der Differenz der Brechungsindices (Brechungsindex des außerordentlichen Strahles minus Brechungsindex des ordentlichen Strahles), der Objektdicke sowie der Orientierung zu der Polarisatorachse.

4.3.2.3 DOPPELBRECHUNG BEI BIOLOGISCHEN MATERIALIEN

Bei biologischen Stoffen unterscheiden wir die Eigendoppelbrechung und die Formdoppelbrechung, die zusammen die Gesamtdoppelbrechung ausmachen.

4.3.2.3.1 FORMDOPPELBRECHUNG

Die Formdoppelbrechung ist diejenige Doppelbrechung, die auf der räumlichen Anordnung von Gefüge und Gefügelücken beruht (WOLMAN 1974, TAUBERT 1977). Nach WIENERS Mischkörpertheorie (1912) bestehen im submikroskopischen Bereich biologische Objekte aus einem System von Molekülen bzw. Makromolekülen mit dazwischen liegenden Lükken, in die unterschiedliche Substanzen eingelagert sind. Aufgrund ihrer Lückenanordnung sind Mischkörper, die aus für sich alleine genommen isotropen Phasen bestehen, doppelbrechend (WOLMAN 1970).

4.3.2.3.2 EIGENDOPPELBRECHUNG

Die Eigendoppelbrechung ist diejenige Doppelbrechung, die auf das Gefüge selbst, nämlich die Anordnung der Atome und Moleküle zurückzuführen ist (TAUBERT 1977).
Sie ist eine charakteristische Materialkonstante für jeden doppelbrechenden Stoff, in Form einer dimensionslosen Zahl. Eine Veränderung der Eigendoppelbrechung kann nur durch Veränderung des Gefüges z.B durch eine chemische Reaktion oder die Änderung von mechanischen Spannungs-dehnungszuständen herbeigeführt werden.

4.3.2.3.3 GESAMTDOPPELBRECHUNG

Die Gesamtdoppelbrechung wird hauptsächlich durch Änderung der Formdoppelbrechung beeinflußt. Es kommt zu einer Vergrößerung bzw. Verkleinerung des Lückenvolumens bedingt durch Quellung, Entquellung, Färbung, Temperaturänderung, Änderung der Einbettungsmedien bei mikroskopischen Schnitten (SCHEUNER 1972).

4.3.3 POLARISATION DURCH LICHTBRECHUNG UND ABSORPTION IN ANISOTROPEN KRISTALLEN

Die heute am häufigsten benutzte Methode, polarisiertes Licht herzustellen, ist die Kombination zweier Phänomene. Einerseits wird in einem doppelbrechenden Medium das Licht in zwei polarisierte Teilbündel gespalten (s. o.), zum anderen schaltet man eines der beiden Teilbündel durch Absorption aus. Dazu werden polymere Folien, die aus sehr langen, linearen Makromolekülen bestehen, erwärmt und in eine bestimmte Richtung gezogen. Dabei orientieren sich die Polymere parallel zur Zugrichtung. Dadurch entsteht ein anisotroper Körper von fast hundertprozentiger Anisotropie.

Polarisationsfolien von hoher Qualität bestehen aus einer Mischung zweier dichroider polymerer Stoffe. Im günstigsten Falle lassen diese Stoffe im ganzen sichtbaren Spektralbereich eine Schwingungskomponente praktisch ungeschwächt hindurch. Die andere aber, die senkrecht zu dieser schwingt,

wird völlig absorbiert. Es eignet sich zum Beispiel ein Jod-Polyvinyl-Alkohol-Komplex zur Herstellung einer Polarisationsfolie hoher Qualität (DITCHBURN 1976). Die Polarisationsfolien werden gewöhnlich zwischen zwei Schutzplättchen aus Glas eingelassen.

4.4 ANALYSE VON POLARISIERTEM LICHT

Polarisationsfilter können gleichzeitig als Polarisatoren und als Analysatoren wirken. Linearpolarisiertes Licht wird bei gekreuzten Polarisatoren absorbiert (Minimum). Bei Parallelstellung der Filter passiert im Idealfall die gesamte polarisierte Welle den Analysator ohne Intensitätsverlust (Maximum). Werden anisotrope (doppelbrechende) Objekte zwischen gekreuzte Polarisatoren gebracht, so erscheinen diese , dadurch, daß die Polarisationsebene drehen, als helle Objekte vor dunklem Hintergrund.

Neben Filter- und Folienpolarisatoren werden auch Kompensatoren zur Analyse von polarisiertem Licht eingesetzt. Kompensatoren bestehen aus einer doppelbrechenden kristallinen Platte, bei der der Grad der Verzögerung geändert werden kann. D.h., der Unterschied der Geschwindigkeit des ordentlichen und außerordentlichen Strahls beim Durchtritt durch die Platte kann in Längen- oder Winkeleinheiten festgelegt werden. Sie können daher benutzt werden, um die Richtung der Doppelbrechung anzuzeigen.

4.5 OPTISCHE ISOTROPIE UND ANISOTROPIE

Optische Anisotropie ist der Unterschied der optischen Eigenschaften des Lichtes beim Durchtritt durch einen Körper in verschiedenen Richtungen. Die Grundlage der Anisotropie sind asymmetrische, gerichtete Strukturen, z.B. im Aufbau eines Kristalls. Der Strukturaufbau eines solchen Systems führt zum Unterschied seiner optischen Eigenschaften in den verschiedenen Richtungen. Stoffe mit symmetrischem Raumgitter sind folglich isotrop. Die isotropen Materialien zeigen in allen Richtungen des Raumes gleichartige Ausbreitung des Lichtes und konstanten Brechungsindex.

4.6 OPTISCHE AKTIVITÄT

Optisch aktive Stoffe können die Ebene des polarisierten Lichtes drehen. Wenn ein Strahl von eben polarisiertem Licht durch einige Substanzen hindurchtritt, bleibt die Ebene des Lichtes plan, wird aber graduell rotiert. Zu diesen Stoffen zählen u.a. Quarz, Benzil, Weinsäure, Kollagen. Bringt man einen derartigen Stoff zwischen zwei gekreuzte Polfilter, so entsteht eine Aufhellung des Gesichtsfeldes. Bei kristallinen Stoffen kann die optische Aktivität durch den kristallinen Zustand selbst bedingt sein und so beim Schmelzen oder Lösen des Stoffes wieder verschwinden. Die isolierten Moleküle sind inaktiv, das Drehvermögen wird erst durch die Orientierung und Wechselwirkung mit den Nachbarn im Molekül erzielt.

Bei reinen Flüssigkeiten, Lösungen von optisch aktiven Substanzen in inaktiven Lösungsmitteln und bei Dämpfen ist die natürliche optische Aktivität eine dem einzelnen Molekül zukommende Eigenschaft und nicht an eine bestimmte Orientierung der Moleküle oder an eine Wechselwirkung mit Nachbarmolekülen gebunden.

Nur "asymmetrische Medien" verfügen über die optische Aktivität oder über die Fähigkeit, die Ebene der Polarisation zu drehen. So verfügen Kristalle mit kubischem Raumgitter nicht über die Fähigkeit der optischen Aktivität.

Asymmetrische Moleküle haben keine Symmetrieebene und kein Symmetriezentrum. Bei den meisten organischen Verbindungen ist der asymmetrische Teil ein Kohlenstoffatom, dessen vier Bindungen mit unterschiedlichen Radikalen abgesättigt sind. Die räumliche Anordnung des C-Atoms mit den Liganden entspricht einem Tetraeder. Physikalisch-chemisch genauer betrachtet entsteht aus einer Linearkombination der Atomorbitale des sp^3-Hybrids des Kohlenstoffatoms mit denen der 4 Liganden eine Molekülkonfiguration, die die Form eines Tetraeders aufzeigt. Nach SHEWANDROW (1973) beinhaltet die Struktur des Tetraeders gewissermaßen eine Schraubenbewegung .

In der belebten Natur findet man asymmetrische Stoffe nur in Form von Razematen. Darunter versteht man Stoffe, bei denen in gleicher Zahl Isomere vorhanden sind. Dieses Gemische drehen die Ebene des polarisierten Lichtes nicht. Die die Razemate bildenden Isomere sind spiegelbildliche

Formen des Stoffes, die sich in ihren chemischen Eigenschaften nicht unterscheiden, aber die die Ebene des polarisierten Lichtes in verschiedene Richtungen drehen, also nach links oder rechts, und zwar um den gleichen Winkelbetrag.

In der belebten Natur kommen die wichtigsten Stoffe (Eiweiße, Lipide, Kohlenwasserstoffe, Nukleinsäuren etc.) nur als reine Antipoden vor, entweder linksdrehend oder rechtsdrehend. Der größte Teil der Naturstoffe liegt in der l-Form vor.

Einige Produkte der teilweisen und völligen Verarbeitung (Reservestoffe etc.) kommen in der Form beider Antipoden vor, z.T. auch als racemisches Gemisch. Auch beim Altern tritt eine Razemisierung ein. Einige Stoffe kommen sowohl als links- wie auch als rechtsdrehende Stoffe vor. Dies beruht auf der Anordnung der Kristallmoleküle im Kristall. Als Beispiele sind Stoffe zu nennen wie Benzil, $NaBrO_3$ u.a. Die Asymmetrie kann als Untersuchungsmethode für biologische Objekte benutzt werden.

Beachtet werden muß jedoch, daß der Drehwinkel der Polarisationsebene abhängig ist von der Wellenlänge des Lichtes. Die Drehung besitzt also eine Dispersion. Das Phänomen wird optische Rotationsdispersion genannt.

Die optische Aktivität und ihre Abhängigkeit von der Wellenlänge ist eine wertvolle Methode für die Untersuchung der Struktur und der Eigenschaften von Biopolymeren (Eiweißen, Nukleinsäuren u.a.). In der Regel haben diese Stoffe Spi-

ralstrukturen (helicale Konformationen) und drehen die Ebene des polarisierten Lichtes stark. Dabei ist die optische Aktivität längs der Spirale und quer zu dieser sehr unterschiedlich (STRAUGHAN 1976).

5. BAUSTEINE DER ANLAGE PAOLA

5.1 ÜBERSICHT

Der Aufbau der Meßeinrichtung PAOLA sowie die Verknüpfung der einzelnen Bausteine der Anlage ist in der Abbildung 01 dargestellt.

Das von der Xenonlampe produzierte Licht wird im Monochromator so aufgeteilt, daß nur Licht eines bestimmten Wellenlängenbereiches den Monochromator verlassen kann. Im Polarisator wird das Licht linear polarisiert. Da sich der Polarisator kontinuierlich dreht, rotiert zwangsläufig auch die Ebene des linear polarisierten Lichtes. Dieses polarisierte Licht wird anschließend mit Hilfe des optischen Systems des Mikroskops durch das zu untersuchende Objekt und den in einer bestimmten Position festgestellten Analysator geleitet. Danach wird das Restlicht dem elektronischen System des Photomultipliers, den Okularen oder wahlweise dem Photoapparat zugeleitet.

Der an den Polarisator gekoppelte Drehwinkelgeber mit seinen Näherungsinitiatoren gibt Impulse an das in den Rechner integrierte Interface. Hierdurch wird der Rechner veranlaßt, sich die aktuellen Meßwerte aus dem Sekundärelektronenvervielfacher (Photomultiplier) abzurufen. Die Meßwerte werden im Analog-Digital-Wandler des Interfaces umgeformt.

Der Rechner verarbeitet die Meßwerte gemäß dem eingegeben Programm (Software) und kann sie auf Magnetbändern (Datasette oder später Floppy-Disk) abspeichern. Andererseits besteht die Möglichkeit der Meßwertausgabe über den Drucker.

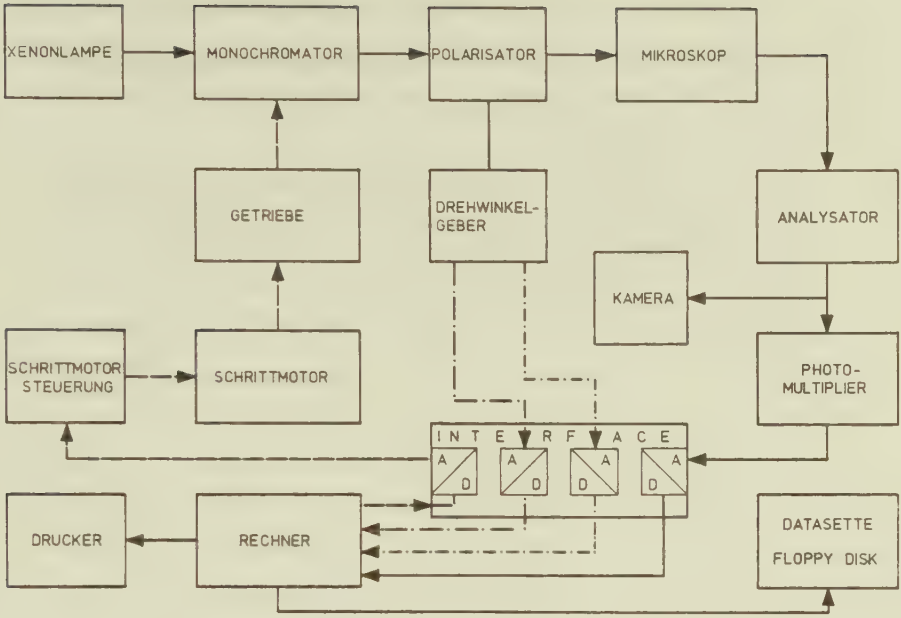


Abb.01 BLOCKSCHEMA P A O L A

Das von der XENONLAMPE produzierte Licht wird im MONOCHROMATOR so aufgeteilt, so daß nur Licht eines bestimmten λ-Bereiches (Wellenlängenbereiches) den Monochromator verläßt.
Im drehenden POLARISATOR wird dieses Licht linear polarisiert, dann mit Hilfe des optischen Systems des MIKROSKOPS durch das zu untersuchende Objekt und den in einer bestimmten Position festgestellten ANALYSATOR geleitet und dem elektronischen System des PHOTOMULTIPLIERS, den Okularen oder der KAMERA zugeleitet.
Der an den Polarisator gekoppelte DREHWINKELGEBER mit seinen Näherungsiniatoren gibt Impulse an das in den RECHNER integrierte INTERFACE. Hierdurch wird der Rechner veranlaßt, sich die aktuellen Meßwerte aus dem Photomultiplier abzurufen. Die Meßwerte werden im ANALOG-DIGITAL-WANDLER des Interfaces umgeformt.
Der Rechner verarbeitet die Meßwerte gemäß eingegebener Software und kann sie auf DATASETTE oder FLOPPY-DISK abspeichern. Andererseits besteht die Möglichkeit der Ausgabe über den DRUCKER.
Über seinen DIGITAL-ANALOG-WANDLER des Interfaces steuert der Rechner die Wellenlängenveränderung des Monochromators. Zur Einstellung und Justierung der Anlage kann auch eine normale Glühbirne statt der Xenonlampe eingeschaltet werden.

Über seinen Digital-Analog-Wandler des Interfaces steuert der Rechner die Wellenlängenänderung des Monochromators. Über die Steuerelektronik wird der Schrittmotor mit dem Getriebe betätigt.

Zur Einstellung und Justierung kann bei der Anlage PAOLA auch eine normale Glühbirne statt der Xenonlampe eingeschaltet werden.

5.2 DER MONOCHROMATOR

Zur Erzeugung monochromatischen Lichtes wird in der Meßeinrichtung PAOLA der Leitz Spiegelmonochromator Nr. 431 verwendet (s. Abb. 01 und 05). Monochromatoren sind Spektralapparate mit konstanter Ablenkung des Lichtes, bei denen Eintrittsspalt und Austrittsspalt eine feste Lage zueinander haben. Bei diesen Spektralapparaten wird die Einstellung auf eine bestimmte Wellenlänge durch Verdrehen eines Dispersionsprismas erreicht (BERGMANN und SCHAEFER 1970).

In dem Dispersionsprisma erfährt das Licht eine Zerlegung in Parallelbündel verschiedener Wellenlängen, nachdem es nach seiner Passage durch den Eintrittsspalt über ein Umlenkprisma und einen Kollimatorspiegel dem Dispersionsprisma als Parallelbündel zugeleitet wurde. Nach Refexion an einer verspiegelten Kathetenfläche des Prismas wird das Prisma nochmals in umgekehrter Richtung durchlaufen und über Kollimatorspiegel und Umlenkprisma dem Austrittsspalt zugeleitet. Die zweimalige Zerlegung des Lichtes ergibt ein monochromatisches Licht hoher Reinheit (PILLER 1977; LEITZ Druckschrift 621 -20). Der Strahlengang wird in Abbildung 10 verdeutlicht.

Durch Drehen der Wellenlängentrommel und damit durch das Verstellen des Glasdispersionsprismas sind bei dem verwendeten Monochromator im sichtbaren Bereich Wellenlängen von 370 bis 1100 nm einstellbar.

Im UV-Bereich wird anstelle eines Glasprismas ein Quarzprisma in den Strahlengang geschwenkt und verstellt. Hier sind Wellenlängen von 205 bis 420 nm einstellbar. Die Wahl des jeweiligen Dispersionsprismas erfolgt durch Verstellen eines Schwenkhebels, der sich auf der Oberseite des Monochromators befindet.
Dem Monochromator ist von der Herstellerfirma eine individuelle Eichtabelle für die jeweiligen Prismen beigegeben (s. Tabelle 2 im Anhang).

Die mechanische Spaltbreite des Eintritts- und Austrittsspaltes des Monochromators ist an einer Spalttrommel variierbar. Sie ist definiert als

$$s = 0{,}02 \times N \text{ (mm)},$$

wobei eine Einheit der Teilung 0,02 mm entspricht und die Spalttrommel 90 Skalenteile umfaßt (s. LEITZ Druckschrift 621 - 20).
Die Spaltbreite des Eintritts- und Austrittsspaltes betrug in den vorliegenden Meßreihen 45 Skalenteile, was einer mechanischen Spaltbreite von s = 0,9 mm entspricht.
Die spektrale Spaltbreite umfaßt in Abhängigkeit von der mechanischen Spaltbreite alle die Wellenlängenbereiche, die mindestens 50% ihrer Gesamtenergie durch den Austrittsspalt schicken.

In der Meßeinrichtung PAOLA wird die Wellenlänge des Monochromators in 256 Einzelschritten mittels eines Schrittmotors (s. Kapitel 5.3.), der über einen Rechner (s. Kap. 5.10.) und eine Steuerelektronik angesprochen wird, verändert.
Die 256 Einzelschritte des Schrittmotors werden durch das

Untersetzungsgetriebe Nr. 108448 der Firma Mädler (s.Abb.4.) so untersetzt, daß nach 256 stets gleich großen Winkelschritten von 22,5 Grad (s. Kap. 5.3.) des Schrittmotors und einer Untersetzung von 16 : 1 durch das Getriebe die Wellenlängentrommel des Monochromators um genau einen Vollkreis von von 360 Grad gedreht wird. Ein Winkelschritt hat demnach in der Meßeinrichtung PAOLA den konstanten Betrag von 1,40625 Grad. Die Beziehung der einzelnen Winkelschritte zur Wellenlänge des Monochromators ist unter Berücksichtigung der individuellen Eichtabelle des Monochromators Nr. 431 im Anhang aus der Tabelle 2 ersichtlich.

Die Wellenlänge des Monochromators wird also mechanisch wie folgt verstellt (s. Abb. 02, 03, 04): Die Schrittmotorachse ist mittels eines Aluminiumadapters mit der Antriebswelle des Stirnradgetriebes verbunden. Die Abtriebswelle wiederum endet in einem Adapter, der die Wellenlängentrommel des Monochromators umfaßt und mit dieser mechanisch fest verbunden ist. Die Aluminiumadapter wurden für diese Einrichtung speziell und hochpräzise angefertigt, um Unwucht beim Antrieb zu vermeiden. Die gesamte Mechanik wird durch eine besondere Halterung getragen (s. Kapitel 5.6).

5.3. DER SCHRITTMOTOR

Als Antriebsmotor zur Veränderung der Wellenlängen am LEITZ Geradsicht-Spiegelmonochromator wurde von uns ein 2-Phasen-Schrittmotor der Firma BERGER Typ RDM 65/4 eingebaut (s. Abb. 04 und Tab 1 im Anhang).

Schrittmotoren zeichnen sich durch das Drehen einer Motorwelle um einen genau definierten, stets gleich großen Winkelschritt aus. Dabei ist die systematische Winkeltoleranz je Schritt, das heißt die positive oder negative statische Winkelabweichung je Schritt gegenüber dem Nennschrittwinkel minimal aufgrund der besonderen Konstruktion des Motors. Insbesondere ist bei diesen Motoren eine Summierung von Wikelfehlern ausgeschlossen. Der nicht addierende Positionierfehler des Motors beträgt 22,5 Grad. Die Motorwelle des Schrittmotors ist ein Permanentmagnet und wird im sogenannten Stator, der durch vom Strom durchflossene Wicklungen in einen Erregungszustand gebracht worden ist, nach Art einer magnetischen Rastschaltung festgehalten. Durch Änderung des Erregungszustandes des Stators mittels einer eigenen Steuerelektronik (Berger Karte D 059 und Karte Westhoff) wird über einen externen Impulsgeber die Motorwelle in eine neue, stabile Position gezogen, was einem Winkelschritt entspricht.

Der externe Impulsgeber wird in der Meßeinrichtung PAOLA vom Rechner SRS 2032 über den Versatile Interface Adapter SRS 018 angesprochen. Der eigentliche Impuls ist die

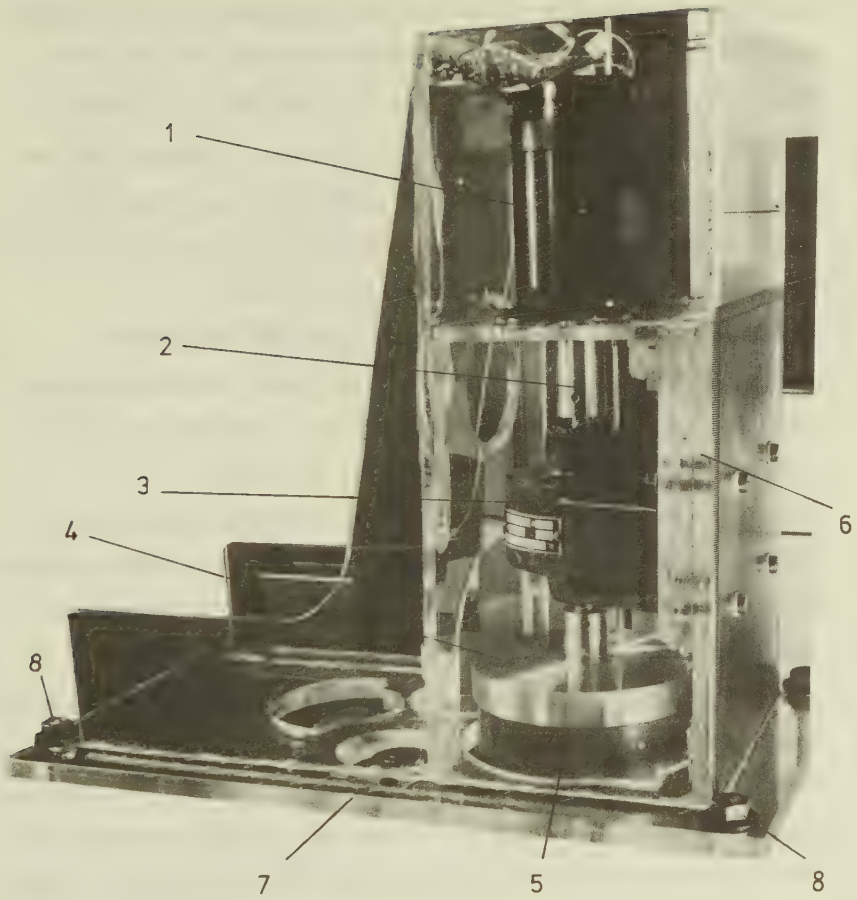


Abb. 03 ANTRIEBSEINHEIT ZUR WELLENLÄNGENVERÄNDERUNG AM MONOCHROMATOR

1 Schrittmotor
2 Aluminiumadapter
3 Getriebe
4 Aluminiumadapter
5 Wellenlängentrommel zur manuellen Veränderung
6 Halterung
7 Grundplatte der Halterung
8 Schrauben und Muttern der justierbaren Höhenverstellung

aufsteigende Flanke eines Rechteckimpulses, die der Motoransteuerung über den Digital-Analog-Wandler des VIA zugeführt wird (s. Kap. 5.10.; Kap. 6. und Abb. 01.; Abb. 16.).

Die Schrittfrequenz des Schrittmotors ist abhängig von der Anzahl der Erregungsänderungen im Stator des Motors. Bei sehr großer Anzahl von Einzelimpulsen kann eine kontinuierliche Drehung der Motorwelle erreicht werden.
Extrem schnelle Start- und Stoppzeiten der Motorwelle, ein hohes statisches Haltemoment und eine gute Schwingungsdämpfung zeichnen den Schrittmotor aus (Berger/Lahr Druckschrift 103/4, Jan. 1979 und Tab. 1 i. Anhang).
Unter diesen Bedingungen ist in der Meßeinrichtung PAOLA gewährleistet, daß sich die Einzelschritte bei verschiedenen Meßdurchläufen real decken, d.h., daß nach 256 Einzelschritten immer ein Vollkreis von 360 Grad abgeschritten ist und daß pro Winkelschritt immer die zugeordnete Wellenlänge den Monochromator verläßt.
Weiterhin ist durch die extrem kurzen Start- und Stoppzeiten sichergestellt (s. Tab.1.), daß bei geeigneter Schrittfrequenz der Motor immer seine gewünschte Position erreicht hat und nicht mehr schwingt oder Schlupf zeigt, wenn vom Rechner Messungen abgerufen werden.

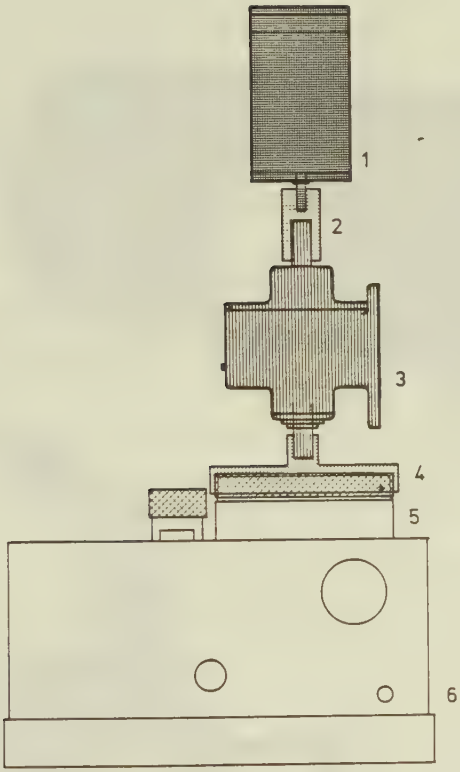


Abb. 02 MONOCHROMATORANTRIEB

1 Schrittmotor
2 Adapter
3 Getriebe
4 Adapter
5 Handrad zur Wellenlängenänderung
6 Monochromator

Mit Hilfe der Adapter 2 und 4 wird die Kraft des Schrittmotors durch das Getriebe 16:1 untersetzt auf das Handrad des Monochromators übertragen. Ein Schritt des Motors verändert die Stellung des Handrades um einen konstanten Winkel von 1,40625 Grad, Dies ist gleichbedeutend mit der Änderung der Wellenlänge um einen diskreten Betrag (s. Vergleichstabelle der Winkelschritte zu den Wellenlängen im Anhang).

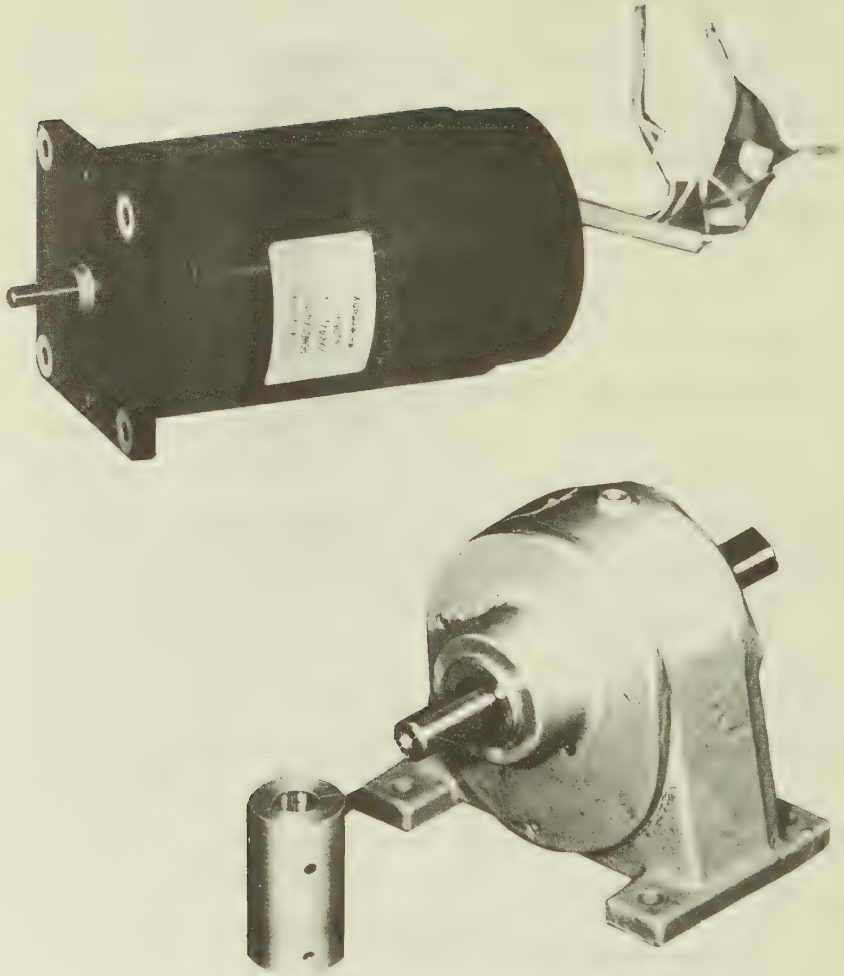


Abb. 04 SCHRITTMOTOR UND GETRIEBE

oben: Berger Schrittmotor
unten: Mädler Getriebe mit Aluminiumadapter

5.4 XENONLAMPE

Als Lichtquelle wird in den hier vorliegenden Meßreihen der polarisationsoptischen Meßeinrichtung PAOLA eine 150 Watt starke XBO Xenonhochdrucklampe verwendet (s. Abb. 05.). Der Brenner wurde vor Beginn der Meßreihe erneuert und 30 Stunden ohne Unterbrechung erschütterungsfrei nach exakter Justierung und bei stabilisierter Stromquelle eingebrannt.

Der Strahlengang ist in Abbildung 10. dargestellt.
Ein Ellipsoidspiegel im Lampengehäuse der Xenonlampe bildet den Lichtbogen auf dem Eintrittsspalt des Monochromators ab. Um die spektrale Energieverteilung des Brenners möglichst konstant zu halten, wurde die Stromquelle der Xenonlampe stabilisiert. Die konstante Leuchtdichte ist zu erreichen durch einen automatischen Spannungsregler (Spannungskonstanthalter) sowie durch eine Einbrennzeit der Lampe von mindestens 30 Minuten vor Beginn jeder Meßreihe (SCHEUNER 1972).
Bemerkbare Inhomogenitäten in der spektralen Energieverteilung der Xe 150 W Lampe sind im Bereich zwischen 820 und 1000 nm gefunden worden (s. Piller 1977, Leitz Druckschrift 620 - 18). Der Wellenlängenbereich zwischen 370 und 820 nm zeigt eine relativ konstante spektrale Energieverteilung. In diesem Bereich liegen auch die bei den Meßreihen gefundenen Polarisationseffekte, so daß gute Voraussetzungen für reproduzierbare Meßreihen vorliegen (s. Kap. 10.).

Bei Glühlampen ist die spektrale Energieverteilung im sichtbaren Licht zwar stabiler als bei Xenon-, Deuterium- und Quecksilberlampen, aber die Beleuchtungsintensität ist wesentlich geringer (LEITZ Druckschrift 621 - 36). Die relativ hohe Lichtabsorption in den vermessenen Benzilkristallen (s. Kap. 10.) ließ bei Voruntersuchungen die Verwendung möglichst hoch intensiven Lichtes ratsam erscheinen. Da von Xenon- und Langbogenlampen der größte Lichtstrom erreicht wird - bei einer Leistungsaufnahme von 130 KW 4,5 Mio. Lumen - , wurde diese Lampenart in der Meßeinrichtung PAOLA verwendet.

Xenon hat in der Lampe eine Temperatur von 7500 K und sendet daher als Temperaturstrahler ein Spektrum aus, das relativ kontinuierlich und dem Sonnenlicht ähnlich ist (BERGMANN und SCHAEFER 1970). Auch die Verwendung eines durchstimmbaren Lasers ist zu diskutieren (s. Kapitel 11.). Bei entsprechender geringer Präparatdichte und -schichtdicke sollte eine 12 Volt 100 Watt Halogen-Glühlampe bevorzugt werden. Der Beleuchtungsstrahlengang wurde nach Anagaben der Firma LEITZ justiert (s. Druckschriften 27701 - 621 R und 25702 - 621).

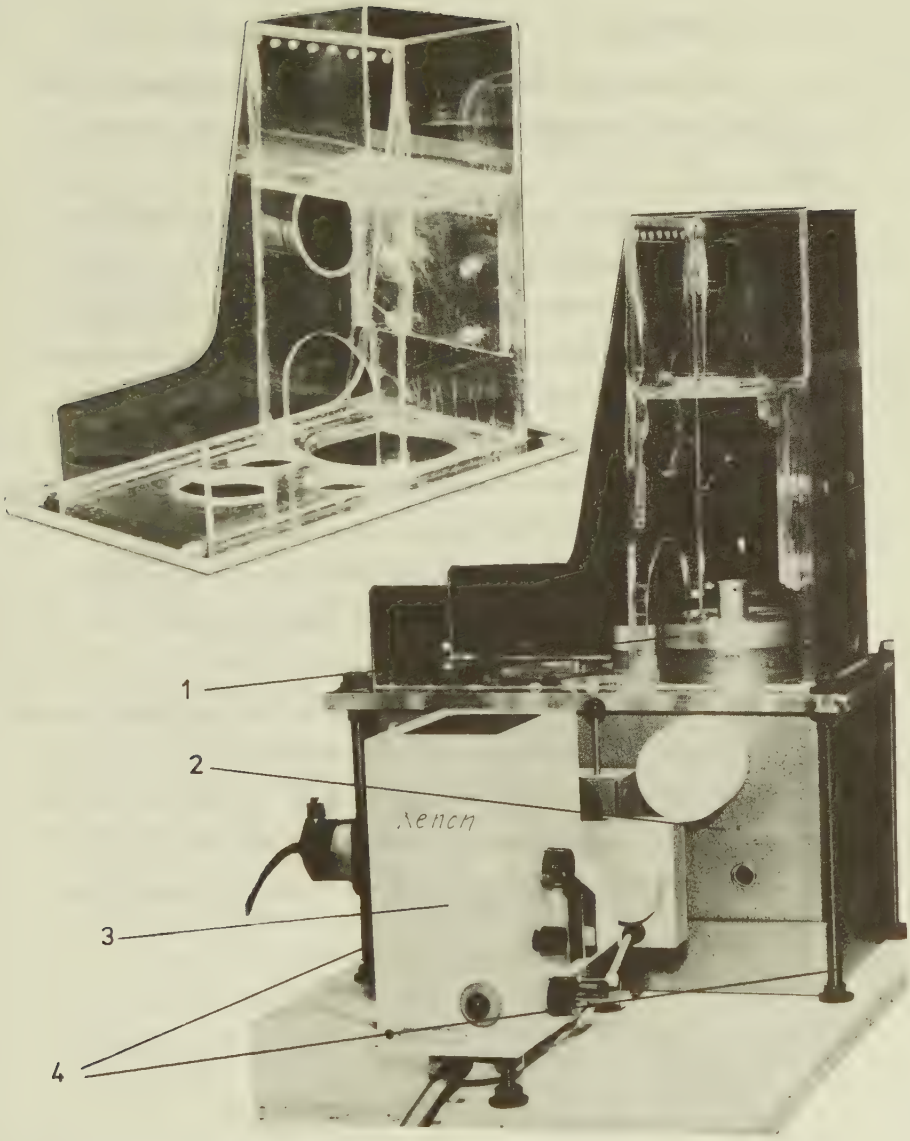


Abb. 05 HALTERUNG FÜR SCHRITTMOTOR UND GETRIEBE

oben : Plexiglasgehäuse der Halterung
unten: Halterung über verstellbare Gewindestangen am Monochromatorgehäuse befestigt
1 Aluminiumadapter an der Wellenlängentrommel
2 Monochromator
3 Xenonlampe
4 justierbare Gewindestangen zur Höhenverstellung der Halterung

5.5 DAS GETRIEBE

Der in der Meßeinrichtung PAOLA verwendete Schrittmotor RDM 65/4 hat einen vorgegebenen Winkelschritt von 22,5 Grad (s. Kap. 5,3.).

Um diesen Winkelschritt zu verkleinern und damit möglichst kleine Wellenlängenveränderungen pro Winkelschritt zu erreichen, wurde zwischen Schrittmotorachse und Wellenlängentrommel des Monochromators ein Getriebe zwischengeschaltet. Es handelt sich um das Stirnraduntersetzungsgetriebe TNG Nr. 108448 der Firma MÄDLER mit freier Antriebs- und Abtriebswelle. Die Antriebswelle ist über einen Aluminiumadapter mit der Schrittmotorachse, die Abtriebswelle über einen Adapter mit der Wellenlängentrommel verbunden (s. Abb. 02 und 03). Die genannten Adapter wurden von uns entwickelt und nach unserer Vorgabe gefertigt.

Durch dieses Getriebe wird der Winkelschritt des Schrittmotors von 22,5 Grad im Verhältnis 16 : 1 untersetzt, so daß ein effektiver Winkelschritt von 1.40625 Grad an der Wellenlängentrommel des Monochromators resultiert. Bei 256 Winkelschritten dreht sich die Wellenlängentrommel um exakt 360 Grad.

5.6 HALTERUNGEN

5.6.1 MONOCHROMATORHALTERUNG

Die Grundplatte des Monochromators ist durch Gewindestangen höhenverstellbar (s. Abb. 3.), so daß der Lichtaustritt aus dem Monochromator in das Spiegelgehäuse des Mikroskops entsprechend den Angaben der Firma LEITZ zentrisch justiert werden konnte.

5.6.2 SCHRITTMOTORHALTERUNG UND GETRIEBEHALTERUNG

Eine zur Monochromatorgrundplatte lotrechte Montage der Achse Schrittmotor - Untersetzungsgetreibe - Wellenlängentrommel des Monochromators ist unverzichtbar zur Erlangung exakter Winkelschritte. Aus diesem Grunde wurde eine Halterung angefertigt, die die Antriebseinheit zur Wellenlängensteuerung aufnimmt (s. Abb. 3. und Abb. 5.).
Die aus Plexiglas gefertigte Halterung liegt der Deckplatte des Monochromators plan auf. Zur Feinabstimmung der lotrechten Befestigung dieser Schrittmotor- und Getriebehalterung ist deren Grundplatte wiederum durch Gewindestangen an ihren vier Ecken variabel einstellbar (s. Abb. 6.10).
Eine Horizontalfeineinstellung ist ebenfalls durch die Besfestigungsschrauben des Getriebes und des Motors möglich.

5.7 POLARISATORHALTERUNG

Bei der Anlage PAOLA wird der Polarisator in kontinuierlicher Drehung gehalten. Um Schwingungs- und Vibrationsübertragungen auf das Mikroskop und damit auf das Meßfeld des Photomultipliers zu vermeiden, ist der Polarisator in einer speziellen Konstruktion befestigt. Der Polarisator hängt freitragend zwischen dem Lichtaustritt des Monochromators und dem Lichteintritt in das Spiegelhaus des Mikroskops (s. Abb. 06). Die Anlage PAOLA ist auf einer Grundplatte befestigt. Der Arm, der die Polarisatorhalterung trägt, ist von dieser Grundplatte vollkommen getrennt aufgebaut. Ebenso ist der Antriebsmotor für die Polarisatordrehung (im folgenden Polarisatormotor genannt) von dieser Grundplatte total unabhängig installiert. Neben der Halterung des Polarisators und der Antriebsmöglichkeit hat die Polarisatorhalterung die dritte wichtige Funktion der Steuerung der Näherungsschalter (s. Kap. 5.7.5) und damit der Messungen des Photomultipliers.

5.7.1 AUFBAU DER POLARISATORHALTERUNG

Der Aufbau der Polarisatorhalterung wird in Abbildung 7. deutlich. Die gesamte Halterung ist am stabilen Haltearm (Abb. 7.6) verschraubt. Über das Gleitlager (Abb. 7.5) ist der fixierte Teil mit dem mobilen Teil der Halterung verbunden. Ein Kugellager gewährleistet eine reibungsarme und leichte Drehung.

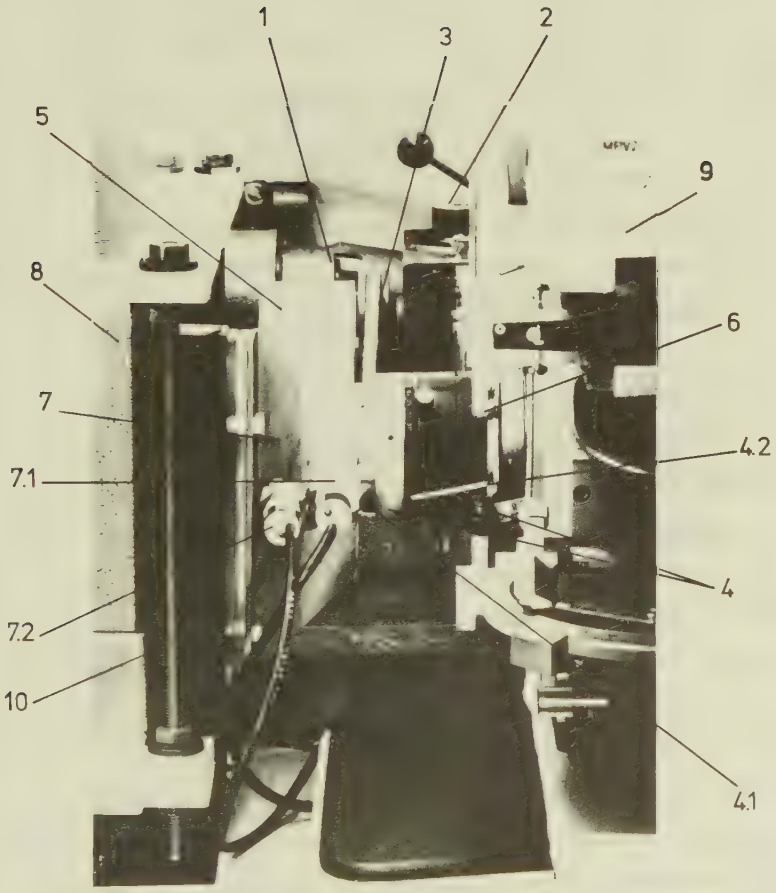


Abb. 06 POLARISATORHALTERUNG IM BETRIEB

1 Motor für Polarisationsfilter
2 Getriebe zur stufenlosen Geschwindigkeitsregulation
3 Antriebsriemen
4 Antriebsadapter
4.1 Nut für Antriebsriemen
4.2 Gleitlager
5 Halterung für Polarisator und für Kontaktstifte der Näherungsiniatoren
6 Haltearm
7 Halterung für die Näherungsiniatoren
7.1 Näherungsiniator für DI_I
7.2 Näherungsiniator für DI_A
8 Monochromator
9 Mikroskop
10 Gewindestangen

Die Halterung (Abb. 7. 2) für den Polarisator (Abb. 7.1) und die Kontaktstifte der Näherungsinitiatoren (Abb. 7.8/9), die mit dem Antriebsadapter (3) fest verbunden sind, wurden am mobilen Teil des Gleitlagers fest verankert.

5.7.2 POLARISATOR

Als Polarisator wird in der Meßeinrichtung ein linear polarisierender , hochwertiger Folienglaspolarisator der Fa. LEITZ, Wetzlar verwendet.

5.7.3 ANTRIEBSADAPTER

Der Antriebsadapter ist ein aus Kunsstoff gedrehter zylindrischer Körper. Eine Nut (Abb. 7. 4) zur Führung des Transmissionsriemens des Polarisatormotors ist außen eingefräst. Der Riemen besteht aus armiertem Kunststoff. Vorbeugend gegen statische Aufladung, erzeugt durch Reibung zwischen Antriebsriemen und -adapter, ist die Halterung geerdet.

Die gesamte Halterung ist mittig von einer großen Bohrung für den Lichtdurchtritt versehen. Die Bohrung ist wesentlich größer als der Durchmesser des aus dem Monochromator austretenden Strahlenbündels. Weiterhin ist der gesamte Bohrkanal innen so geschwärzt, daß kein Fremdlicht eintreten kann, aber auch Refexionen im Kanal vermieden werden.

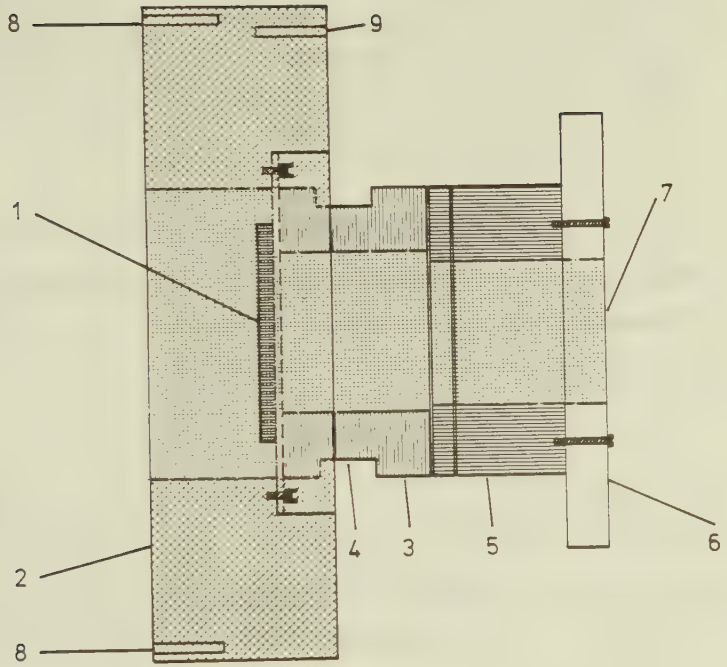


Abb. 07 POLARISATORHALTERUNG IM SCHNITTBILD

1 Polarisator
2 Halterung für Polarisator und Kontaktstifte der Näherungsinitiatoren
3 Antriebsadapter - festverankert mit Halterung 2
4 Nut für Antriebsriemen
5 Gleitlager
6 Haltearm zur Positionierung der Polarisatorhalterung zwischen Monochromator und Mikroskopstativ
7 Öffnung für den Lichtdurchtritt
8 Kontaktstifte der äußeren Spur
9 Kontaktstift der inneren Spur

5.7.4 POLARISATORMOTOR

Der Polarisatormotor treibt über den Transmissionsriemen, der in die Nut am Adapter (Abb. 7. 4) greift, den mobilen Teil der Halterung an. Der Riemen kann gespannt werden, so daß sich der Schlupf möglichst klein halten läßt und die Vibrationsübertragungen auf den Haltearm sehr gering gehalten werden können.
Der Antrieb erfolgt mit einem AEG-Wechselstrom-Motor. Über sein Getriebe kann jede Geschwindigkeit zwischen einer Umdrehung pro Minute und einhundertzwanzig Umdrehungen pro Minute eingestellt werden.

5.7.5 NÄHERUNGSSCHALTER

In die Kunststoffhalterung (Abb. 07. 2) sind Stahlstifte (Abb. 07. 8 und 9) eingelassen. Auf der Seite, die dem Monochromator zugewandt ist (im späteren "äußere Spur" genannt), sind 16 Stahlstifte von 3 Millimeter Stärke eingelassen. Die Stifte liegen dicht unterhalb der Kunststoffoberfläche in einem Winkel von 22.5 Grad zueinander versetzt (s. Abb. 16 A). Auf der dem Mikroskop zugewandten Seite ist ein Stahlstift eingelassen. Diese Spur wird im folgenden "innere Spur" genannt.
An einem Winkeleisen vor der Polarisatorhalterung befinden sich zwei Näherungsschalter jeweils der äußeren bzw. der inneren Spur gegenüber (s. Abb. 6. 7).
Die Anordnung der Stifte und die Funktion der Schalter

entsprechen dem Prinzip des Inkrementaldrehwinkelgebers (auch Winkelcodierer oder Impulsgeber genannt. S. RAMMELSBERG 1978, NIEBUHR 1977). Die einzelnen Schritte geben die Stellung eines bestimmten Winkels wieder. Die Näherungsschalter steuern bei der Anlage PAOLA die Meßwerteingabe in den Rechner (s. Abb. 16 und Kapitel 6.).

5.7.5.1. PRINZIP DER NÄHERUNGSSCHALTER

Näherungsschalter (auch Näherungsiniatoren genannt) sind berührungslose Schaltungselemente, die Metallteile erfassen (s. Werkschriften der Fa. Klöckner-Moeller, Fa. Turck, Fa. ifm, Fa. Metzenauer & Jung im Literaturverzeichnis).

Diese Schalter bestehen aus einem Oszillator, einer Triggerstufe und einem Endverstärker. Der Oszillator erzeugt ein hochfrequentes elektromagnetisches Feld. Dieses tritt an der aktiven Fläche des Schalters aus. Das Feld befindet sich in Resonanz.

Werden elektrisch oder magnetisch leitende Teile der aktiven Fläche genähert, entziehen sie dem Oszillator Schwingungsenergie. Bei Annäherung der Metalle habe sich Wirbelströme gebildet, die zur Verringerung der Schwingungsamplitude des Oszillators führen. Der Schwingkreis ist bedämpft. Dieser Vorgang der Amplitudenänderung wird in einer elektronischen Schaltung ausgewertet. Die Triggerstufe wertet die Oszillatoränderung und steuert den Verstärker an.

Dieses Ausgangssignal des Schalters - ein Rechteckimpuls -

steuert nach Analog-Digital-Wandlung im Interface SRS 018 direkt den elektronischen Schaltkreis des Rechners an (s. Abb. 16. und Kap. 6). Bei bedeckter Aktivfläche liefert der Ausgang ein Signal von 5 Volt (high level). Bei unbedeckter Aktivfläche liefert der Ausgang o Volt (low level). Es besteht somit Arbeitsstromprinzip. Befindet sich der Metallstift im Bereich der aktiven Fläche, so ist der Ausgang durchgeschaltet.

5.7.5.2 VERWENDETE NÄHERUNGSSCHALTER

Wir verwenden induktive Näherungsschalter der Fa. ifm-elctronic. Die Näherungsschalter sind in einem vernickeltem Messingschraubengehäuse integriert. Die aktive Fläche befindet sich an der Stirnseite der Gewindehülse. An der Rückseite zeigt eine Leuchtdiode den Schaltzustand an. Bei bedeckter Aktivfläche leuchtet die LED auf.

Damit der Schalter arbeitet, ist ein gewisser Abstand zwischen aktiver Fläche und Metallstift notwendig. Dieser Schaltabstand beträgt bei unserer Anlage 4 mm. Bei diesem Abstand ist der größtmögliche sichere Ansprechabstand der Näherungsschalter gegeben. Um eine hohe Genauigkeit der Messungen zu erreichen, wurde ein Näherungsschalter mit einer sehr kleinen Schalthysterese gewählt.
Für genaue Messungen ist es notwendig, daß bei den einzelnen Meßwertabfragungen immer exakt zu gleichen Zeitpunkten abgefragt wird. Die Schalthysterese gibt die Differenz wieder zwischen Einschaltpunkt bei sich nähern-

dem Metallstift und dem Ausschaltpunkt bei sich entfernendem Stift. Da bei der Anlage PAOLA die aufsteigende Flanke beim Einschaltpunkt die entscheidende Bedeutung hat, ist die Genauigkeit unabhängig vom Ausschaltpunkt des Näherungsschalters.

5.7.5.3 ANORDNUNG DER KONTAKTSTIFTE FÜR DIE NÄHERUNGSSCHALTER

Gemäß den physikalischen Gegebenheiten durchläuft die Lichtintensität beim Durchtritt durch den gedrehten Polarisator und nachgeschalteten Analysator Maxima und Minima. Sind Polarisator und Analysator gekreuzt, so besteht Minimum, bei parallelen Filtern dagegen Maximum (s. Abb. 08.).

Bei der Umdrehung von 360 Grad durchläuft die Lichtintensität zweimal das Maximum und zweimal das Minimum. Werden die 360 Grad einer Umdrehung in 16 Teilschritte 22,5 Grad unterteilt, so ergeben sich Stellungen, bei denen die Filter in gleichen Winkeln zueinander versetzt sind und so die selben Lichtintensitäten hindurchlassen. Die Kontaktstifte der Näherungsiniatoren sind bei 0 Grad, 22.5, 45, 67,5 Grad etc. in die Halterung eingelassen.

Der Berek-Kompensator (Analysator) läßt sich so exakt einstellen, daß eine genaue Abeichung zwischen Polarisator und Analysator erfolgen kann und das Maximum genau auf einen Kontaktstift eingestellt werden kann.

Mit Hilfe eines sehr genau arbeitenden Voltmeters kann

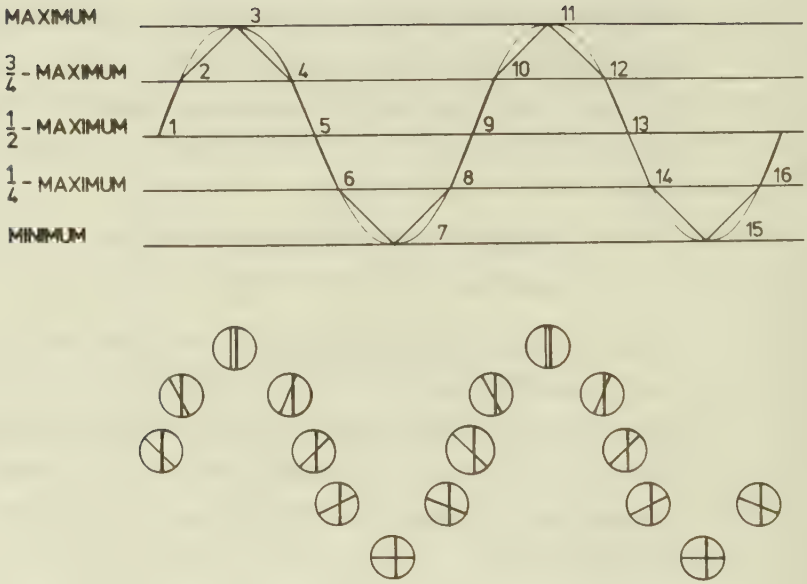


Abb.08
oben : THEORETISCHER INTENSITÄTSVERLAUF DES LICHTES BEI DREHUNG DES POLARISATORS GEGEN ANALYSATOR IN FIXIERTER STELLUNG
unten : POSITION DES POLARISATORS GEGENÜBER DEM ANALYSATOR

Wird der Polarisator um 360 Grad gedreht, bei fester Stellung des Analysators, so beschreibt die aufgezeichnete Lichtintensität theoretisch den dargestellten Kurvenverlauf.
Das MAXIMUM wird zweimal durchlaufen: Position 3 und Position 11. Die Polarisatoren stehen in einer Ebene.
Bei den Positionen 2, 4, 10, 12 besteht 3/4-MAXIMUM. Die Polarisationsfilter sind um einen Winkel von 22,5 Grad gegeneinander versetzt.
1/2-MAXIMUM bei den Stellungen 1, 5, 9, 13. Ein Versetzungswinkel von 45 Grad.
1/4-MAXIMUM bei Position 6, 8, 14, 16. Um einen Winkel von 67,5 Grad sind Polarisator und Analysator versetzt.
MINIMUM bei 7 und 15 entspricht einer gekreuzten Polfilterstellung.
Die Kontaktstifte für die Näherungsiniatoren sind in der Polarisatorhalterung entsprechend der Positionen 1 bis 16 angebracht.

die Abeichung bei eingeschaltetem Photomultiplier erfolgen. Schon Scheuner wies 1972 auf diese Möglichkeit hin, die vollkommen unabhängig von der spektralen Empfindlichkeit der Augen verschiedener Untersucher ist.

Wird dafür gesorgt, daß das erste Maximum an der dritten Position, also nach 67,5 Grad steht, ergibt sich folgende Konstellation:

- Das zweite Maximum befindet sich an der Position 11, genau 180 Grad später. Auch hier wird der maximale Ausschlag der Photomultiplieranzeige registriert.
- Die Minima stehen an den Positionen 7 und 15. Die Polarisatoren sind bei dieser Stellung gekreuzt.
- Gleiche Lichtintensitäten ergeben sich für die Positionen 2, 4, 10, 12 - hier liegt 3/4-Maximum vor. Die Filter sind um einen Winkel von 22,5 Grad zueinander versetzt.
- Bei einem Versetzungswinkel von 45 Grad ergeben sich die 1/2-Maxima in den Positionen 1, 5, 9, und 13.
- Das 1/4-Maximum bei den Stellungen 6, 8, 14, 16 ergibt einen um 67,5 Grad versetzten Polarisator gegenüber Analysator.

An den einzelnen Positionen sind jeweils die Kontaktstifte für die Näherungsiniatoren der äußeren Spur eingelassen. Die Stifte sind wie oben ersichtlich um 22,5 Grad gegen einander versetzt (s. Abb. 16 A und Abb. 8).

Der aus der Abbildung 8 hervorgehende Intensitätsverlauf bei gedrehtem Polarisator gegen feststehenden Analysator wird in Abbildung 9 bestätigt. Diese Aufzeichnung der Intensität wurde mit einem X-Y-Schreiber festgehalten .

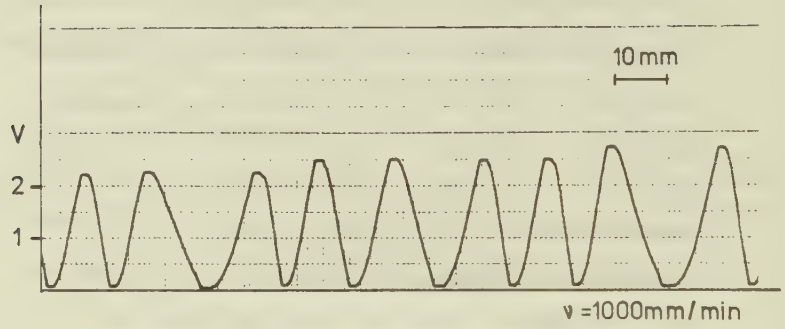


Abb. 09 AUSSCHNITT AUS DER ABSORPTIONSKURVE

Zur Verdeutlichung der Laufunregelmäßigkeiten des Polarisationsfilterantriebsmotors wurde die Kurve mit einem Linseis X-Y-Schreiber bei einer Papierlaufgeschwindigkeit von 1000mm/min aufgezeichnet.

An der nicht exakt sinusförmigen Kurve wird deutlich, daß ein unregelmäßiger Lauf des Polarisatormotors, sowie Schlupf des Antriebsriemens (dieser wird an den Scheitelpunkten der Kurve deutlich) zu Kurven führt, die hinsichtlich ihrer X-Achse nicht reproduzierbar sind. D.h. eine einfache Addition, Subtraktion oder ein Vergleich von verschiedenen Kurven ist nur mit erheblicher Ungenauigkeit möglich.
Der Einsatz eines Schrittmotors sowie von Näherungsschaltern behebt diesen Mangel (s. Kap. 5.3. und 5.7.5.).

5.7.5.4. VORTEIL DER NÄHERUNGSINIATOREN

Durch den Einsatz der Näherungsiniatoren mit den zugehörigen Kontaktstiften (Prinzip des Inkrementaldrehwinkelgebers) kann erreicht werden, daß die Eingabe der gewünschten Meßwerte exakt zur gleichen Winkelstellung des Polarisators erfolgt.
Da die Aufzeichnung der Meßerbebnisse im X-Y-System erfolgt, bedeutet dies, daß die X-Achse bei den verschiedensten Messungen immer exakt gleich lang ist. Es können bei jedem beliebigen Schritt die Meßwerte genau verglichen werden. Auch ein ungleicher Lauf des Polarisatormotors (Abb. 9.) beeinflußt die Meßeingaben nicht. Die Meßwertaufzeichnung ist nicht abhängig von der Umdrehungsgeschwindigkeit des Polarisators. Ob langsamer Lauf, schneller oder ungleichmäßiger Lauf, die Befehle zur Meßwertübertragung vom Photomultiplier zum Rechner werden immer exakt zur gleichen Winkelstellung erfolgen (Prinzip des Winkelcodierers).
Weiteres Kapitel 6.

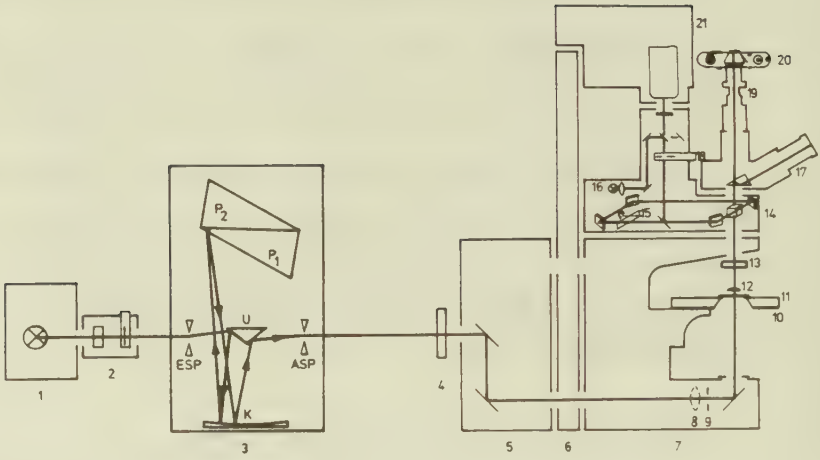


Abb. 10 LICHTWEG

1 Lampengehäuse für Xenonlampe
2 Lampenträger mit Blenden und Filtern
3 LEITZ Geradsicht-Spiegelmonochromator mit
ESP Eintrittsspalt
U Aluminium oberflächenverspiegeltes Umlenkprisma
P_1, P_2 30-Grad Dispersionsprismen
ASP Austrittsspalt
4 Polarisator in Halterung für kontinuierlichen Antrieb
5 Spiegelhaus
6 Trägerschiene
7 Mikroskop LEITZ ORTHOLUX
8 ausklappbare Beleuchtungslinse
9 Leuchtfeldblende
10 Objekttisch
11 Objektträger
12 Objektiv im Revolver
13 Analysator in Halterung
14 Photometrietubus
15 Dunkelklappe
16 Pilotlampe
17 Binokularer Phototubus
18 Meßfeldblende
19 Kameraadapter
20 Kleinbildkamera
21 Photomultiplier mit Gehäuse

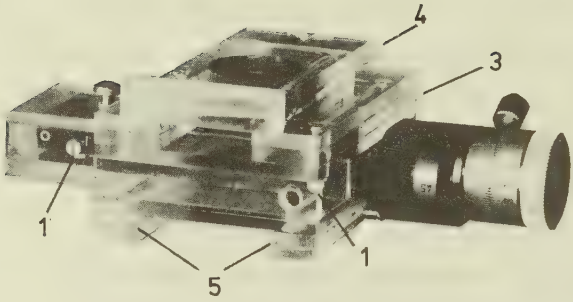
(unter Verwendung der LEITZ-DRUCKSCHRIFTEN 27701 - 621 R und 25702 - 621)

5.8 DAS MIKROSKOP

Nachdem das monochromatische Licht im Polarisator linear polarisiert ist, wird es über das Spiegelhaus und die Mikroskopoptik durch das Objekt geleitet. Anschließend wird es durch den Analysator dem elektronischen System des Photo Photomultipliers zugeführt (s. Abb. 10). Als Mikroskop wird das LEITZ Forschungsmikroskop ORTHOPLAN eingesetzt. Es ist erweitert um ein Spiegelhaus, Photometrietubus, binokularen Phototubus, Analysatorhalterung sowie Photomultiplier.

5.8.1. ANALYSATORHALTERUNG

Der Analysator ist zwischen Objektiv und Photometrietubus im Strahlengang befestigt (Abb. 10. 13). Zu dieser Anordnung wurde eine spezielle Halterung entworfen (s. Abb. 11.). Der Analysatoreinschub wird anstelle des Objektivrevolvers in die Führungsschiene des Mikroskopstativs geschoben (Abb. 12. B). Der Objektivrevolver wiederum wird in die Nut des Analysatoreinschubes (Abb. 12. C) eingeschoben.
Die Höhe des Analysatoreinschubes kann durch Hinzufügen oder Entfernen der Distanzplatten (Abb. 12. D) in diskreten Abständen variiert werden. Der Analysator wird in den Kanal (Abb. 12. A) eingeschoben. Mit Hilfe von horizontalen und vertikalen Schrauben kann er endgültig zentriert und fixiert werden (s. Abb. 11. 1.).



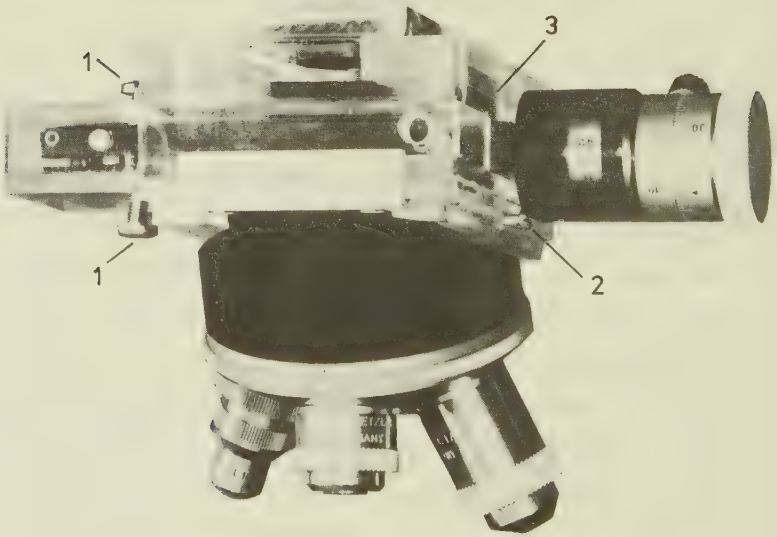


Abb. 11 ANALYSATOREINSCHUB

oben: Einschub mit Analysator
unten: Einschub mit Analysator und Objektivrevolver

1 Fixier- und Justierschrauben
2 Feststellschraube für den Objektivrevolver
3 Distanzplatten
4 Führungsnut zum Einschub in das Mikroskopstativ
5 Führungsnut für den Objektivrevolver

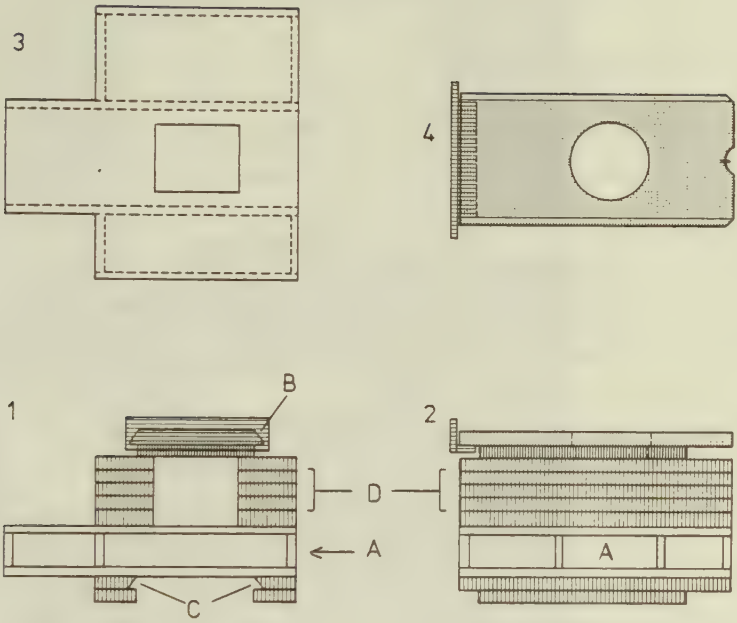


Abb. 12 ANALYSATOREINSCHUB

1 Frontansicht
2 Seitenansicht
3 Aufsicht auf Platte mit Kanal zur Aufnahme des Analysators
4 Aufsicht Führungsplatte I mit Bohrung für Lichtdurchtritt

A Kanal zur Aufnahme des Analysators
B Führungsnut zum Einschub in das Mikroskopstativ
C Führungsnut für den Objektivrevolver
D Auswechselbare Distanzplatten

Der gesamte Einschub wird mit einer Feststellschraube am Mikroskopstativ fixiert (Abb. 13.). Auf diese Weise ist eine verwacklungssichere Fixierung des Analysators geschaffen.

5.8.2 ANALYSATOR

Als Analysator wird ein Berek-Kompensator der Fa. LEITZ verwendet. Mit diesem Modell ist eine exakte Abeichung der "Maximumstellung" zwischen Polarisator und Analysator auf einen bestimmten Kontaktstift des Inkrementaldrehwinkelgebers möglich (s. Kapitel 5.7.5.3). Nach Abeichung läßt sich die Analysatorstellung arretieren.

5.8.3 OBJEKTIV

Aus Vorversuchen entschieden wir uns für das Objektiv P 40 / 0.65 (Apertur) der Fa. LEITZ, Wetzlar. Es handelt sich um ein achromatisches Trockensystem mit weitgehend spannungsfreier Obtik, das auf Benutzung mit Deckglas abgeeicht ist.

5.8.4 VERDUNKELUNG

Während der Messungen kann der gesamte Bereich zwischen Mikroskopstativfuß, Photometrietubus und Trägerschiene für den Photomultipler durch lichtdichtes Stoffgewebe, das sich durch einen ringsherumlaufenden Klettenverschluß befestigen läßt, abgedunkelt werden (S. Abb. 15. 11).

Abb. 13 ANALYSATOREINSCHUB AM MIKROSKOP

1 Mikroskopstativ
2 Analysatoreinschub
3 Analysator
4 Objektivrevolver
5 drehbarer Objektivtisch mit Kreuztischaufsatz
6 Photometrieaufsatz

Hiermit wird gewährleistet, daß Fremdlichteinfall durch die Xenonlampe, Raumbeleuchtung und Kontrollampen äußerst gering gehalten wird.

5.8.5 FOTODOKUMENTATION

Am binokularen Phototubus wird über einen Fotoadapter eine Kleinbildkamera angeschlossen. Bei Bedarf kann das Objekt, der gewählte Ausschnitt und auch der verwendete Meßbereich dokumentiert werden. Das Meßfeld kann durch Einspiegeln der Meßfeldblende festgehalten werden.

5.9 PHYSIKALISCHE UND TECHNISCHE GRUNDLAGEN DES PHOTOMULTIPLIERS

5.9.1 PHOTOEFFEKT UND SEKUNDÄREMISSIONSFAKTOR

Elektronen, die mit genügend großer Geschwindigkeit auf eine Metalloberfläche treffen, können aus diesem Metall sekundär Elektronen auslösen. Diese physikalische Erscheinung findet Anwendung in der Photokathode. Abhängig von der Art des bestrahlten Materials und von der Geschwindigkeit der Primärelektronen ist das Verhältnis der Zahl der Sekundärelektronen. Dieses Verhältnis wird Sekundäremissionsfaktor genannt. Nach BERGMANN/SCHAEFER (1970) erreicht es Werte bis zu 15 bei einer Geschwindigkeit der Primärelektronen von etwa 800 Volt. Oberhalb einer Geschwindigkeit von 25 KV und unterhalb von 10 Volt sinkt bei fast allen Stoffen der Sekundäremissionsfaktor unter 1 (nach BERGAMNN/SCHAEFER laden sich dann die Leuchtschirme negativ auf und nehmen keine Elektronen mehr an). Bei den meisten Metallen beträgt der Faktor 1 bis 1,5. Mit der Metallverbindung GaP kann ein Wert von 45 erreicht werden.

5.9.2 AUFBAU DES PHOTOMULTIPLIERS

Werden in einer Hochvakuumröhre mehrere Platten aus einem Material mit hohem Sekundäremmissionsfaktor in der Weise angeordnet, daß jedes Mal die ausgelösten Sekundärelektronen als Primärelektronen auf die nächste Platte wirken, so können wenige Elektronen (in einer Art kaskadenförmiger Verstärkung) um einen Faktor bis zu 10^6 multipliziert

werden. Solche Anordnungen von Platten in Hochvakuumröhren heißen Sekundärelektronenvervielfacher (Abkürzung SEV) oder Photomultiplier.
Zwischen den Platten (sogenannte Dynoden), an denen der Sekundärelektroneneffekt auftritt, liegt eine Spannung von je 100 bis 200 Volt.
Durch spezielle Formung der Dynoden wird erreicht, daß auch alle Elektronen die nächste Platte erreichen.
Da lichtelektrischer Effekt und Sekundärelektronenemission praktisch trägheitslos sind, wird erreicht, daß auch sehr kurze Lichtimpulse in entsprechende Stromimpulse umgesetzt werden können.

5.9.3 CHARAKTERISTIKA DER PHOTOMULTIPLIER

Es besteht eine strenge lineare Proportionalität des Photostroms (Zahl der Photoelektronen pro Zeiteinheit) und der einfallenden Lichtintensität (auftreffende Beleuchtungsstärke).
Bei sorgfältiger Meßschaltung ist nach PILLER (1977) die Proportionalität mit einer Fehlergenauigkeit von weniger als einem Prozent zu messen.
Das Verhältnis von ausgelöstem Photostrom zu eingestrahlter Lichtleistung wird photoelektrische Empfindlichkeit genannt.
Die photoelektrische Empfindlichkeit und die Grenzwellenlänge der Photokathode werden durch deren Zusammensetzung bestimmt (s. 5.9.1).
Die Sensitivität bzw. die Quantenausbeute sind weiter

durch die Parameter Schicht, Verunreinigung des Vakuums sowie Güte des Vakuums beeinflußt.

5.9.4 EINFLUSSGRÖSSEN AUF SEV-MESSUNGEN

Die photoelektrische Empfindlichkeit ist wellenlängenabhängig. Nach Piller variiert die Sensitivität auch mit der Richtung der Schwingung des polarisierten Lichtes. Dreht sich die Schwingungsebene um die Achse des Lichtstrahles, so ist eine Änderung bis zu 20% für Tuben mit seitlichem Fenster ("side-window-tubes") zu erwarten, für Tuben mit endständigem Fenster ("end-window-tubes") aber nur von 5% (PILLER). In der von uns betriebenen Anlage PAOLA wird ein "endwindow-tube" verwendet.
Ein zusätzliches Charakteristikum der lichtempfindlichen Schicht ist der Dunkelstrom (engl. dark current).
Selbst wenn kein Licht auf die Schicht trifft, treten Elektronen aus. Dieser "dark current" ist hauptsächlich bedingt durch thermoionische Emission der Kathode (PILLER) . oder benachbarter Elektroden.
Die Höhe ist abhängig von der thermischen Arbeitsfunktion der Kathode, der Größe (Fläche) der Kathode sowie von der Temperatur, weniger von Feldemissionen der Elektrodenkanten und der Ionisation von Residualgas (PILLER).
Je geringer die Austrittsarbeit der Photoelektronen ist, d.h. je größer die Grenzwellenlänge, um so leichter kommen Elektronen aus dem Material und so größer wird der Dunkelstrom. Je rot- und ultrarot empfindlicher die Photokathode ist, desto größer der Dunkelstrom.

Der Dunkelstrom kann vernachlässigt werden, wenn er kleiner als ein Prozent des Photostroms ist (PILLER) .

Ungewollte elektrische Impulse der Geräte, durch das Bedienungspersonal ausgelöste und natürliche Störungen beeinflussen den Meßwert. Dies sind Lampenflacker, mechanische Vibrationen, die zu Störungen des Lichtstrahles führen und Fluktuationen der elektrischen Versorgung.
Ist der Rauschpegel sehr groß, so wird das Nutzsignal (output des Photomultipliers) von einem Störband umgeben. Die Breite des Störbandes ist meist abhängig besonders von der Verstärkung des Sekundärelektronenvervielfachers.

Eine große Stabilität der Spannung muß gewährleistet sein. Spannungsschwankungen führen zur Beeinflussung der Sekundärelektronen.

Temperaturschwankungen beeinflussen alle elektrischen Teile. Eine konstante Temperatur sollte eingehalten werden. Niedrige Temperatur wirkt positiv auf Dunkelstrom und Noise.

Die Meßzeit (engl. sampling time) ist diejenige Zeit, die zwischen dem Moment, an dem die Photokathode belichtet wird oder an dem die Beleuchtung der Photokathode geändert wird, bis zu dem Moment, an dem der dem vollen Beleuchtungsstrom entsprechende (End-) Meßwert angezeigt wird. Theoretisch liegt diese Zeit im Bereich von etwa 10^{-7} Sekunden. Praktisch liegt die Meßzeit im Mikrosekunden - bereich. Die kürzesten Meßzeiten werden durch rein elektronische Systeme erreicht, im sogenannten "on-line"-Verfahren.

5.9.5 EIGENSCHAFTEN DES VERWENDETEN PHOTOMULTIPLIERS

Als Photometrieteil wird in der Anlage PAOLA das LEITZ MPV 2 - System verwendet. Es besteht aus Photometrietubus, Gehäuse des Photovervielfachers, der Versorgungseinrichtung und der Beleuchtungseinrichtung.
Der Photometrietubus ist fest mit dem Leitz-Mikroskopstativ Orthoplan verbunden. Mit Hilfe dieses Tubus kann die Meßfeldblende direkt in das Okularfeld eingespiegelt werden (s. Abb. 10. 18). Die Pilotlampe (Abb. 10. 16) bildet die Meßfeldblende in der Okularebene ab. Am Photostutzen des FSA-Tubus wird die Kamera befestigt.

Als Meßfeldblende wird eine fest zentrierte Irisblende mit einem variablen Durchmesser von 1,5 bis 16,5 mm benutzt. Zur schnellen Kontrolle wurde außen am Blendenhalter eine Skala angebracht, die einen genauen Vergleich der eingestellten Blenden bei verschiedenen Meßreihen erlaubt. Die Skala umfaßt die Werte von o bis 5,5 . Dabei entsprechen sich Skalenwert und Blenden-durchmesser in folgenden Verhältnissen:

Skalenwert	Blendendurchmesser
0,5	1,5 mm
1,0	3,0 mm
1,5	4,5 mm
2,0	6,0 mm
2,5	7,5 mm
3,0	9,0 mm
3,5	10,5 mm
4,0	12,0 mm
4,5	13,5 mm
5,0	15,0 mm
5,5	16,5 mm

Das Photomultipliergehäuse ist durch eine Trägerschiene fest mit dem Mikroskop verbunden (Abb. 10. 6 und 21).

Als Strahlungsempfänger dient ein Sekundärelektronenvervielfacher EMI 9558 A vom Typ 036 - 046.042, Nr. 268 mit einem Kathodentyp S 20. Die genauen Daten sind in der Tabelle 3 im Anhang zu entnehmen.
Der Dunkelstrom ist sehr gering und wird nach Werksauskunft im Hochspannungsteil vollkommen kompensiert.
Der Rauschpegel (signal noise ratio) liegt bei einer Verstärkung von einem Kilovolt bei maximal 1 Promille, im Mittelwert jedoch nur bei etwa 0,6 °oo. Der Hauptmessbereich und damit der Bereich mit dem kleinsten Noise liegt zwischen o.6 bis 0.9 Kilovolt.

Über das Hochspannungsversorgungsteil kann der Photomultiplier stufenlos verstärkt werden. Gleichzeitig läßt sich hiermit der Dunkelstrom kompensieren.

Die Übersichtsbeleuchtung wird über das Spiegelhaus 500 eingeblendet. Es handelt sich um eine in der Helligkeit regelbare 12 Volt 100 Watt Halogenlampe.

Die Meßbeleuchtung erfolgt über die Xenonlampe XBO 150 Watt (s. Kap. 5.4.).

Die Auswertung der Messungen erfolgt über den Rechner (s. Kap. 5.10. und Kap. 8.).

Der Messbereich des Photomultipliers in der Anlage PAOLA beträgt 0 Volt bis 14.1 Volt.

5.10 DER RECHNER UND SEINE PERIPHERIE

Als zentrale Steuereinheit der Anlage PAOLA wird ein Mikrocomputer SRS 2032 verwendet (s. Abb. 14. 1).
Er verfügt über eine 9-Zoll Bildröhre - einfarbig - mit 1000 Zeichen, 64 ASCII-Zeichen, 64 Graphikzeichen und Kursorkontrolle.
Bedient wird der Mikrocomputer über die ASCII-Tastatur.
Die Speicherkapazität beträgt 32 Kilobyte. Der Dialog mit der Zentraleinheit erfolgt in der Computersprache BASIC. Im Rechner befindet sich hardwaremäßig ein Basic-Interpreter für erweitertes Basic. Eine Programmierung in der Maschinensprache Assembler ist möglich.
Die Kommunikation mit den Peripheriegeräten (Drucker, Datasette etc.) erfolgt über das weiterhin eingebaute Interface nach IEEE - 488.

5.10.1 VERSATILE INTERFACE ADAPTER

Als weiteres Interface verfügt der Rechner SRS 2032 über den speziell entwickelten "versatile interface adapter" (VIA) SRS 018. Über dieses Interface ist die Kommunikation mit dem Photomultiplier, dem Schrittmotor und den Näherungsschaltern gegeben. Das VIA enthält mehrere Umformer:

- Den Analog-Digital-Wandler (A-D-Wandler) zur Umformung der Meßwerte des Photomultipliers;
- den A-D-Wandler zur Wandlung der Impulse der Näherungsschalter der inneren Spur;
- den A-D-Wandler zur Umsetzung der Impulse der äußeren Spur;
- den Digital-Analog-Wandler zur Ansteuerung des Schrittmotors.

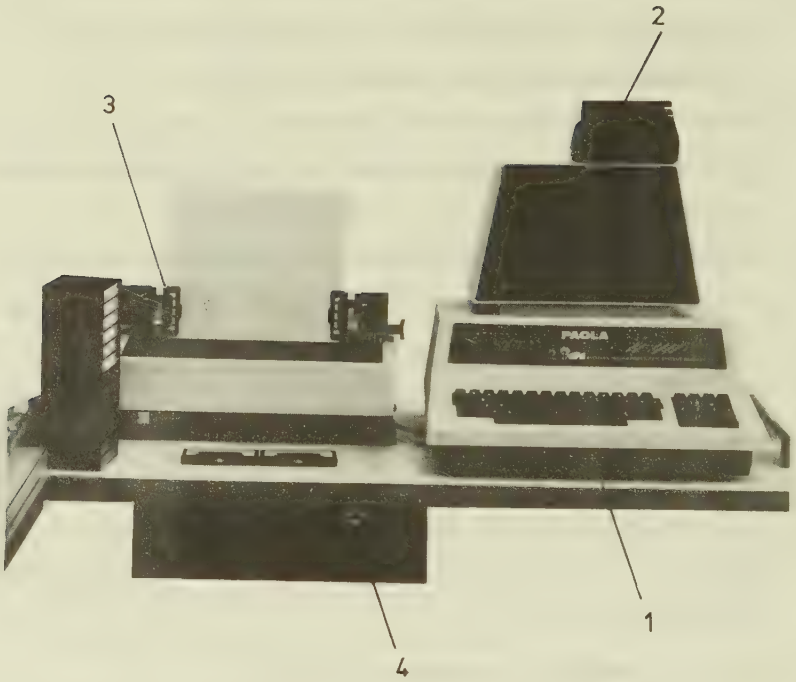


Abb. 14 ANSICHT DER STEUEREINHEIT

1 Kleincomputer mit integrierten Interfaces; digitaler Meßwertanzeige; Kontrolleuchtdioden zur Anzeige der Funktionen: An/Aus, Synchronisation, Messung, DI_I, DI_A und internal power
2 Datasette
3 Drucker
4 zentrale Stromversorgung für elektronische Steuereinheit

5.10.2 KONTROLLFUNKTIONEN

Der Rechner verfügt über ein eingebautes digitales Voltanzeigeteil, das in die Frontplatte eingelassen ist (s. Abb. 14.). Hier werden die aktuellen Meßwerte des Photomultipliers weitgehend trägheitslos angezeigt. Dabei entspricht ein Anzeigewert von 1000 einem Wert von 10 Volt. Sämtliche Funktionen werden auf dem Bildschirm oder mit den in die Frontplatte des Rechners integrierten Leuchtdioden (LED) angezeigt. Folgende Funktionszustände werden angezeigt:

- Internal Power (INT.PWR). Diese LED gibt Auskunft über Stromzuführung vom Interface zum Rechner.
- External Power (EXT.PWR). Diese Leuchtdiode leuchtet bei Netzeinschaltung auf und erlischt erst beim Ausschalten der Stromzuführung.
- Messung. Diese Kontrollampe leuchtet auf, sobald ein Meßwert vom Photomultiplier während des Meßvorgangs übernommen wird.
- Synchronisation (Sync.). Sobald ein neuer Meßvorgang beginnt, wird dies durch diese LED angezeigt.
- Innere Spur (1/UMDR). Diese Leuchtdiode blinkt, sobald Impulse der inneren Spur beim Rechner eintreffen, d.h. synchron zur LED am entsprechenden Näherungsschalter.
- 16/Umdrehung (16/UMDR). Diese Diode leuchtet entsprechend synchron zum Näherungsschalter der äußeren Spur, d.h. sechzehn mal pro Umdrehung.

Mit einem Testschalter kann der einwandfreie Zustand der Leuchtdioden überprüft werden.

5.10.3 PRÜF- UND KALIBRIERROUTINE

Auf Seiten der Hardware ist in den Rechner eine Prüf- und Kalibrierroutine integriert.
Die Prüfroutine überprüft den Funktionszustand der einzelnen elektronische Bausteine beim Einschalten des Rechners. Ist der Zustand einwandfrei, wird dieses dem Bediener über den Bildschirm in folgender Weise mitgeteilt:

```
++++SRS 2000++++  PAOLA I / 81.01
HARDWARETEST OK
FREIER Bereich 1025 - 16384
READY
```

Ebenso kalibriert der Rechner beim Einschalten die Volteingaben, dies bedeutet, daß bei verschiedenen Meßvorgängen 10 Volt auch immer 10 Volt entsprechen. Die Fehlerungenauigkeit ist hardwaremäßig auf 1% maximal festgelegt.

5.10.4 DATASETTE

Als Aufzeichnungsgerät dient die externe Datasette C2N. Sie speichert die Programme und sichert auch die Meßwerte. Sie ist direkt vom Rechner über das Interface (IEEE 488) ansprechbar. Als Datenträger werden spezielle Tonband-Kassetten verwendet. Die Compusetten sind mit einer besonders dichten Schicht versehen, damit keine "Löcher" im Beschichtungsmaterial auftreten und zur Speicherung vorgesehene Daten nicht durch diese verloren gehen oder verfälscht werden.

5.10.5 STROMVERSORGUNG DER ZENTRALEINHEIT

Die gesamte Zentraleinheit mit den Interfaces und der Datasette wird von einer eigenen Stromversorgung gespeist. Das Netzteil SRS 100 kann verriegelt werden. So kann die Einheit von betriebsfremden Personen ohne Schlüssel weder eingeschaltet noch abgeschaltet werden. Ein laufender Meßvorgang kann nicht unterbrochen werden, und etwaige Meßdaten gehen nicht verloren.

5.10.6 DRUCKER

In der Anlage PAOLA wird ein COMMODORE Drucker " Printer 3022" mit Traktorführung verwendet (s. Abb. 14. 3). Der Drucker bedruckt Endlospapier. Seine Befehle zur Druckausführung erhält der Printer von der Zentraleinheit SRS 2032, wo diese Befehle schon hardwaremäßig aber insbesondere softwaremäßig im Programm festgelegt sind.
Er druckt in ASCII-Großschreibung, kann in Sperrschrift, Negativschrift oder in Graphik drucken.
Es bestehen Formatierungsmöglichkeiten. Maximal können 80 Zeichen pro Zeile, 70 Zeilen pro Minute und maximal 150 Zeichen pro Sekunde gedruckt werden.

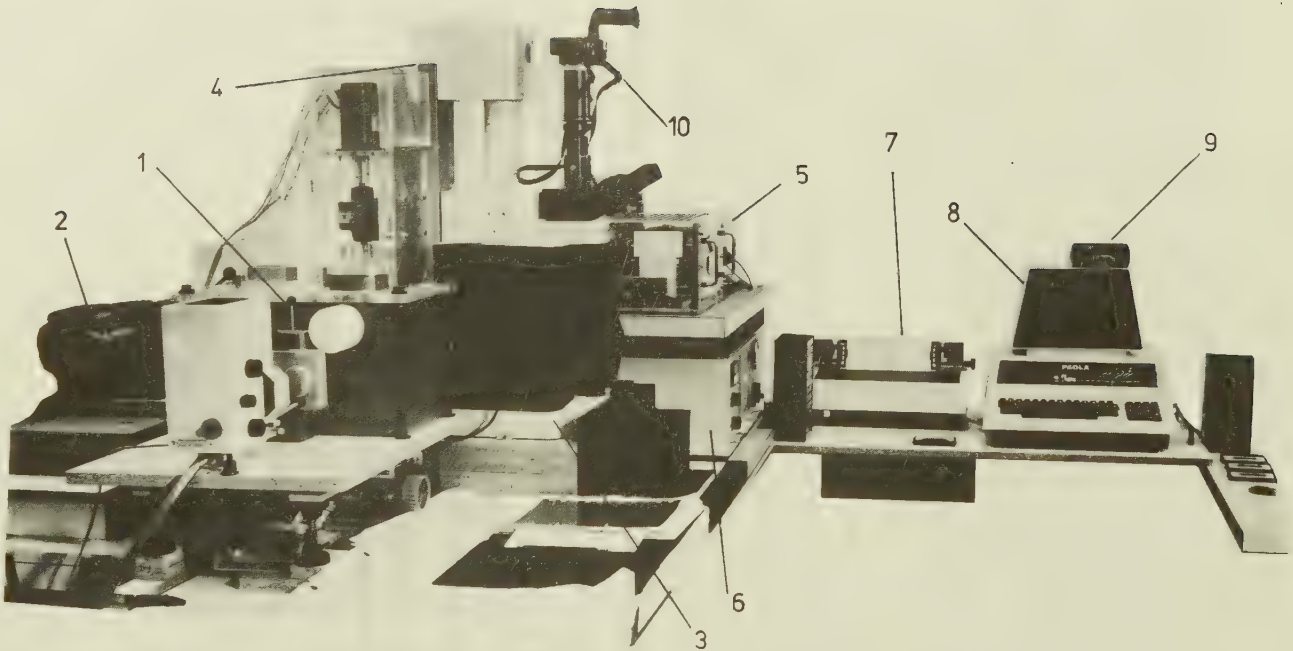


Abb. 15 GESAMTANSICHT DER ANLAGE IM BETRIEB

1 Monochromator mit Schrittmotorhalterung und Xenonlampe
2 Antriebsmotor für Polarisator
3 Mikroskop mit Abdunkelung
4 Photomultiplier
5 elektronische Ansteuerung
6 Hochspannungsgerät zum Photomultiplier
7 Drucker
8 Rechner mit integriertem Interface
9 Datasette
10 Kleinbildkamera mit Adapter

6.0 FUNKTIONSABLAUF

6.1 ZENTRALEINHEIT UND PERIPHERIE

Der Rechner SRS 2032 überwacht und steuert als Zentraleinheit die Geräte der Peripherie (s. Abb. 16.).
Auf der einen Seite gehören hierzu die beiden Näherungsinitiatoren Abb. 16 B) für die innere und die äußere Spur, der Schrittmotor (Abb. 16 C) mit Ansteuerelektronik zur Veränderung der Wellenlänge, der Photomultiplier (Abb.16 F) mit seiner Meßwertausgabe.

Die Kommunikation von der Peripherie zur Zentraleinheit und umgekehrt läuft über den Versatile Interface Adapter SRS 018 - abgekürzt VIA (Abb. 16 E). Über den VIA läuft also die Kommunikation mit den Näherungsschaltern, dem Schrittmotor und dem Photomultiplier.

Auf der anderen Seite sind die anderen Geräte der Peripherie, der Printer und die Datasette , die über das Interface nach IEEE-480 angesprochen werden.

6.2 DER ABLAUF

Als einziges Gerät ist vor Einschalten des Rechners die Xenonlampe in Betrieb. Die Xenonlampe sollte 30 Minuten vor Inbetriebnahme des Meßvorganges eingeschaltet sein (s. Kap. 5.4.). Wird die Lampe bei laufendem Mikrocomputer eingeschaltet, so können die entstehenden Störströme bewirken, daß es zu Fehlern im vom Rechner gespeicherten Programm kommen kann.

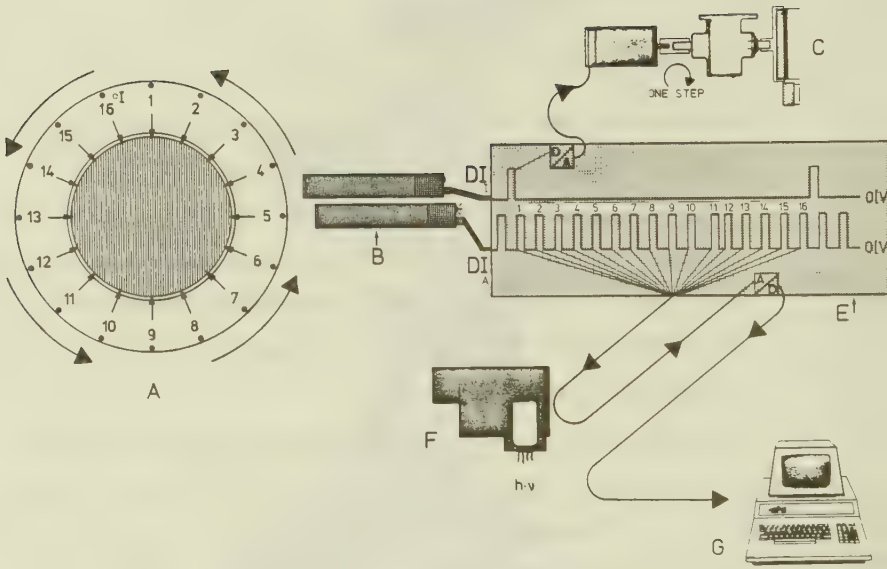


Abb. 16 FUNKTIONSABLAUF PAOLA

A Polarisatorhalterung mit Polarisator und Kontaktstiften für die Näherungsiniatoren
B Näherungsiniatoren
C Schrittmotor mit Getriebe am Monochromator
D/A Digital-Analog-Wandler im Interface
A/D Analog-Digital-Wandler im Interface
DI_I digital in der inneren Spur
DI_A digital in der äußeren Spur
E Interface im Rechner
F Photomultiplier
G Rechner
I Kontaktstift der inneren Spur

Sobald die Kontaktstifte der Polarisatorhalterung (A) an den Näherungsiniatoren vorbeiwandern, senden die Näherungsiniatoren (B) Rechteckimpulse an das Interface (E). Die Impulse der äußeren Spur werden über "digital in " (DI_A), die Impulse der inneren Spur über DI_I in das in den Rechner integrierte Interface gegeben. Bei jedem Impuls über DI_A wird, solange der Rechner sich im Messvorgang befindet, vom Photomultiplier (F) der aktuelle Messwert abgerufen, analog-digital gewandelt und dem Rechner zu weiteren Rechenoperationen zur Verfügung gestellt. Erfolgt ein Impuls über DI_I, so wird ein Steuerimpuls nach Digital-Analog-Wandlung im Interface an die Steuerelektronik des Schrittmotors zur Veränderung der Wellenlänge gegeben. Voraussetzung ist, daß der Rechner die Operation freigibt.

Nach Einschalten der Zentraleinheit der Anlage PAOLA wird das Programm eingegeben. Danach werden die Geräte der Peripherie zugeschaltet (Schrittmotor, Polarisatormotor und Näherungsschalter).

Sobald der Näherungsschalter der inneren Spur über "digital in" (DI_I) einen Rechteckimpuls an das Interface (VIA) des Rechners gibt (s. Abb. 16 E), wird vom Mikrocomputer über den Digital-Analog-Wandler der Befehl an die Schrittmotoransteuerelektronik gegeben (digital out), den Motor um einen Schritt weiterwandern zu lassen. Vor dem Einschalten hatte der Schrittmotor die Position Null inne, jetzt steht er also in der Winkelstellung 1. Der Impuls DI_I dient gleichzeitig der Synchronisation des Messbeginns. Der Rechner weiß durch den Impuls über DI_I, daß die nächsten 16 Impulse über "digital in" der äußeren Spur (DI_A) die Befehle sind, die aktuellen Meßwerte aus dem Photomultiplier abzurufen.

In unbedecktem Zustand sendet der Näherungsschalter keine Impulse aus (low level von Null Volt). Sobald an der aktiven Fläche ein Stahlstift vorbeiwandert, geht der Schalter schlagartig auf "high level" von 5 Volt (Abb. 16. E). Ist der Stahlstift vorbeigewandert, geht der Impuls ebenso schnell wieder auf "low level" zurück. Für die Zentraleinheit dient die aufsteigende Flanke des Rechteckimpulses als Befehl.

Der Multiplier liefert relativ kontinuierliche Werte, die sich im Millisekundenbereich neuen Meßverhältnissen an-

passen.

Der Kanal vom Multiplier an den Rechner wird jedoch nur geöffnet, wenn die aufsteigende Flanke eines "digital in" (DI_A) im Interface des Rechners eintrifft.

Der analoge Wert aus dem Photomultiplier wird im Interface (VIA) in ein digitales Signal im Analog-Digital-Wandler umgesetzt und vom Rechner verarbeitet. (s. auch Programmablaufplan Kap. 7. und Kap. 8.).

Nach 16 "digital in" über die Näherungsschalter der äußeren Spur ist ein Messvorgang für einen Winkelschritt abgeschlossen.

Der Polarisator hat eine Umdrehung von 237,5 Grad hinter sich. Als nächstes "digital in" wird ein Impuls über DI_I erfolgen. Bei entsprechender Drehgeschwindigkeit des Polarisators ist es dem Rechner möglich, zwischen dem letzten Impuls der äußeren Spur (16. DI_A) und dem folgenden DI_I die erforderlichen Rechenoperationen auszuführen (s. Kap. 8.). Der Rechner wird mit diesem folgenden "digital in " der inneren Spur den Schrittmotor einen Schritt weitersteuern zum Winkelschritt Nr. 2. Der Rechner ist hiermit gleichzeitig auch für den Messvorgang dieses Schrittes synchronisiert. D.h. bei den nächsten "digital in" der äußeren Spur fragt der Mikrocomputer über das VIA die Meßwerte aus dem Photomultiplier ab.

Bei sehr schneller Drehgeschwindigkeit des Polarisatormotors ist die Zeit zwischen dem 16. "digital in" der äußeren Spur und dem folgenden "digital in" der inneren Spur zu kurz, um die gewünschten Rechenoperationen und

die Abspeicherung der Daten auf Datasette zu vollziehen. In diesem Fall kommt die Abspeicherung folgendermaßen zum Tragen:

Nach 16 DI_A ist der Messvorgang beendet. Die eingehenden Impulse über "digital in" der äußeren Spur bleiben unberücksichtigt. Der Rechner führt die gewünschten Rechenoperationen und die Sicherstellung der Daten auf Datasette durch.

Erst nachdem diese Vorgänge abgeschlossen sind, reagiert der Rechner wieder auf das Synchronisationssignal der inneren Spur. Beim nächsten DI_I nach Abschluß der Rechenoperationen wird der Schrittmotor weitergesteuert und der Mikrocomputer nimmt den nächsten Messvorgang auf.

Dieser Vorgang wird bis zum 256. Schritt wiederholt (s. Kap.7.).

Sollte aus irgendeinem Grunde der Rechen- oder Speichervorgang andauern, ist z.B. die Kassette der Datasette total beladen, so daß keine weiteren Daten übertragen werden können, so wird durch die eintreffenden Impulse über DI_I auch der Schrittmotor nicht weiter transportiert.

Ein weiterer Vorteil dieser Synchronisation besteht darin, daß der Rechner im Programm nicht weiter fortfährt, wenn ein Peripheriegerät ausfällt (z.B. Näherungsschalter, Polarisatormotor u.ä.). Die Störung kann behoben werden, ohne daß angefangene Meßreihen verworfen werden müssen. Die Messung wird an der unterbrochenen Stelle fortgesetzt.

7. PROGRAMMABLAUFPLAN

Der Programmablaufplan "Paola-Messen" (Abb. 16) verdeutlicht die softwaremäßig festgelegte Reihenfolge des Messablaufes. Nach dem Start erfolgt über "digital in" der inneren Spur (DI_I) ein Impuls, der den Rechner veranlaßt, über den Versatile Interface Adapter (VIA) ein "digital out" zur Ansteuerung des Schrittmotors zu geben (s. a. Kap. 6. und Kap. 5.3). Auf "digital in" der äußeren Spur (DI_A) hin wird die Schleife "Nimm Messwert" durchlaufen. Die einzelnen abgerufenen Meßwerte werden im Rechner gespeichert.

Nach 16 DI_A werden aus den gespeicherten Einzelmeßwerten gemäß Programmvorgabe Mittelwerte gebildet (s. Kap 8. und Abb. 18). Diese Mittelwerte werden auf Datasette gespeichert.

Diese Operationen werden 256 mal wiederholt ("Ja-Schleife" in Abbildung 17). Nach 256 Durchläufen ist ein Meßdurchlauf beendet.

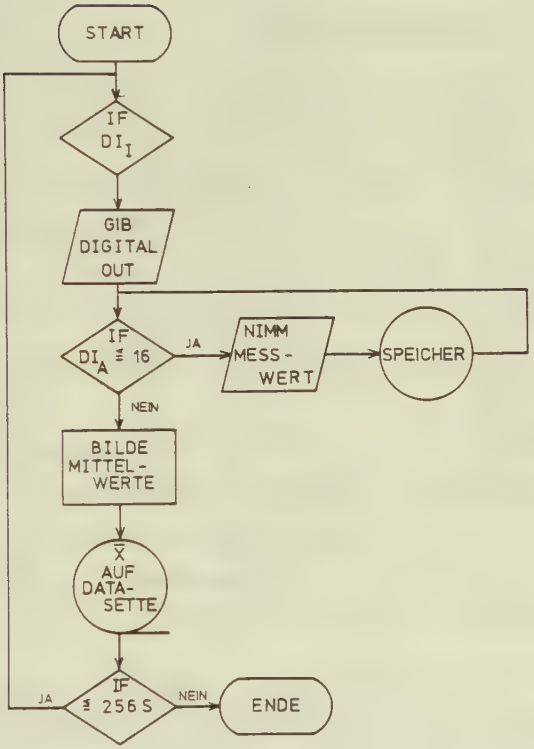


Abb. 17 PROGRAMMABLAUFPLAN PAOLA-MESSEN

Nach dem Start wird der über DI_I (Digital in) folgende Impuls mit einem Digital out des Rechners beantwortet (Schrittmotoransteuerung). Die Schleife "Nimm Messwert" wird auf Impuls DI_A durchlaufen. Die Werte von 16 Schleifendurchläufen werden im Rechner gespeichert. Die Daten werden entsprechend gemittelt und auf Datasette übertragen. Dieser Vorgang wird 256mal wiederholt ("ja-Schleife").

8. AUFZEICHNUNG UND AUSWERTUNG DER MESSDATEN

8.1 LEERWERTERSTELLUNG

Nach Einschalten der Meßeinrichtung PAOLA geht zunächst ein "digital in" der inneren Spur des Inkrementaldrehwinkelgebers (s. Kap. 5.7.) dem in den Rechner integrierten Interface (VIA) zu. Dann wird es im Digital-Analog-Wandler in einen Steuerimpuls für die Steuerelektronik des Schrittmotors umgewandelt. Der Schrittmotor, der sich einen Schritt vor der ersten Meßposition befindet, rückt einen Schritt vor (s. Kap. 6.).
Daraufhin wird die in Abbildung 17. beschriebene Schleife "Nimm Meßwert" sechzehn mal durchlaufen, d.h. von einem Winkelschritt werden an den vorgegebenen Positionen Maximum, 3/4-Maximum, 1/2-Maximum, 1/4-Maximum und Minimum 16 Meßwerte vom Rechner abgefragt (s. Abb. 8., 16.)

Die eingegangenen Meßwerte werden vom Rechner gemittelt, so wird z.B. das 1/2-Maximum aus 4 Einzelmeßwerten gemittelt (s. Abb. 8., Abb. 18.)
Die Mittelwerte des Winkelschrittes 1 werden vom Rechner abgespeichert oder über den Drucker ausgedruckt.

Danach wird der Schrittmotor über das Interface des Rechners veranlaßt, die Position des Winkelschrittes 2 einzunehmen. Der oben beschriebene Vorgang läuft erneut ab.
Nach 256 Schritten ist der gesamte mögliche Wellenlängenbereich ausgemessen. Es sind 4096 Einzelmeßwerte zu 1280 gemittelten Werten verarbeitet und abgespeichert worden.

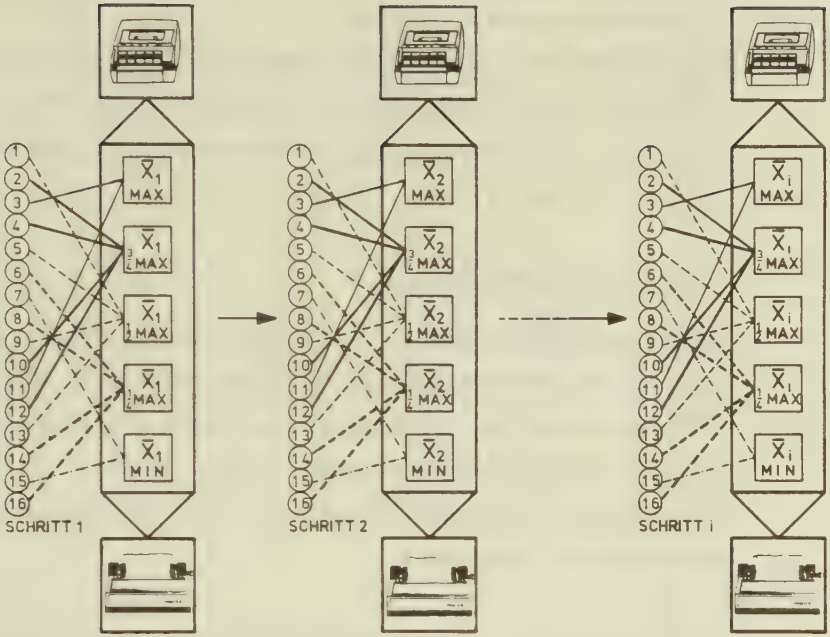


Abb. 18 ERSTELLUNG DER KURVEN UND MESSWERTE

Pro Schritt werden bei einer Polarisatorumdrehung vom Rechner 16 Meßwerte aus dem Photomultiplier abgefragt. Wie im Text erläutert wurde, ergeben bestimmte Positionen des Polarisators zum Analysator gleiche Meßergebnisse. Es werden die Mittelwerte $\bar{X}$ Maximum, $\bar{X}$ 3/4-Maximum, $\bar{X}$ 1/2-Maximum, $\bar{X}$ 1/4-Maximum sowie $\bar{X}$ Minimum gebildet. Diese werden vom Rechner auf Datasette abgespeichert oder über den Drucker ausgedruckt.
Nach 256 Schritten hat der Rechner den gesamten möglichen Wellenlängenbereich ausgemessen. Bei einem Durchlauf werden aus 4096 Einzelmeßwerten 1280 gemittelte Werte zur weiteren Verarbeitung gespeichert.

Erfolgt dieser Meßvorgang ohne Probe, so wird der Meßeinrichtungsleerwert erstellt.
Neben der Speicherung der Leerwerte auf Datasette ist auch gleichzeitig das Ausdrucken der Werte über den Printer möglich. Der Ausdruck kann in numerischer oder graphischer Form erfolgen (s. Kap. 10.).

8.2 MESSWERTERSTELLUNG

Im nächsten Arbeitsgang wird die zu untersuchende Probe unter das Mikroskop gebracht. Analog der Erstellung des Leerwertes werden die 1280 gemittelten Werte der Probe als X_A auf Datasette gespeichert (s. Abb. 18.)
Die Ausgabe über den Drucker ist wieder in numerischer oder graphischer Form möglich.

8.3 ERSTELLUNG DES KORRIGIERTEN ODER REALEN MESSWERTES

Nachdem im Zuge der Erstellung einer Meßreihe Leerwert und Meßwert vorliegen, folgt als nächster Schritt die Erstellung des realen Meßwertes dadurch, daß der entsprechende Meßwert vom Leerwert subtrahiert wird (s.Abb. 19.).
Zunächst werden die Leerwert- und Meßwertdaten dem Speicher des Rechners zugeführt, dann erfolgt die Subtraktion.
Am Ende kann wieder wahlweise der korrigierte oder reale Meßwert numerisch oder graphisch ausgedruckt werden.
Die gesamten externen Speicheroperationen wurden in der vorliegenden Untersuchung mittels Datasette durchgeführt (s. Kap. 5.10.).
Zeitsparender und schneller ist die Verwendung einer

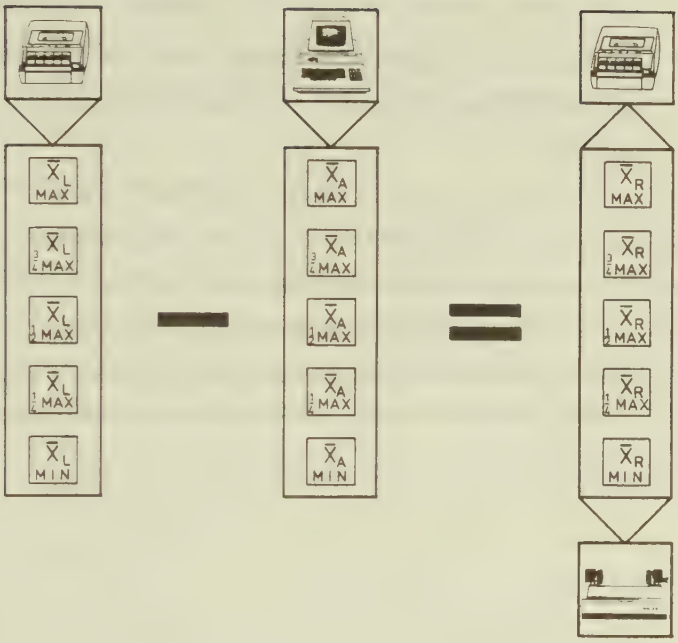


Abb. 19 ERSTELLUNG DER KORRIGIERTEN MESSWERTKURVEN

Die ermittelten Leerwert- und Meßwertkurven bzw. -daten werden von der Datasette oder Floppy Disk abgerufen und in den Speicher des Rechners übernommen. Der Rechner subtrahiert bei jedem Meßwert Minuend und Subtrahend. Nach Abschluß der Rechenoperationen druckt er die korrigierten Meßwerte numerisch oder graphisch aus. Eine Übernahme dieser korrigierten Werte in den externen Speicher ist möglich.

Floppy Disk, deren Verwendung aus Kostengründen nicht möglich war (s. Kap. 12.).

Am Ende unserer Meßreihe liegen also unter Ausnutzung aller Auswertungsmöglichkeiten folgende Darstellungen der Ergebnisse vor:

- die graphische Darstellung des Leerwertes,
- die graphische Aufzeichnung des Meßwertes,
- die graphische Wiedergabe des korrigierten Meßwertes,
- die numerische Darstellung des Leerwertes,
- die numerische Wiedergabe des Meßwertes sowie
- der numerische Ausdruck der korrigierten Meßwerte.

9. FEHLERMÖGLICHKEITEN UND DEREN VERRINGERUNG

Bei Meßfehlern müssen zwei unterschiedliche Arten von Fehlern unterschieden werden. Einerseits die statistischen Meßfehler andererseits die systematischen Meßfehler.

9.1 STATISTISCHE MESSFEHLER

Statistische Meßfehler sind rein zufällige Beeinflussungen, die dazu führen, daß die Meßwerte um den Hauptwert streuen. Sind die statistischen Meßfehler klein, so ist die Präzision der Messung hoch. Erhöht werden kann die Präzision durch Wiederholungen der Messungen.

Bei den statistischen Meßfehlern müssen unterschieden werden nach PILLER (1977):

- Instrumentfehler
- Ablesefehler
- natürliche Variationen des Untersuchungspräparates.

9.1.1 INSTRUMENTFEHLER

9.1.1.1 FEHLER DER XENONLAMPE

Innerhalb der Meßeinrichtung PAOLA müssen Schwankungen der Lampenstabilität bedingt durch Netzschwankungen und Veränderungen durch Lampenalter berücksichtigt werden. Vermindert bzw. ganz vermieden werden diese Fehler dadurch, daß darauf geachtet wird, daß die Lampe einerseits vor Beginn der ersten Messungen über längere Zeit eingebrannt wird, andererseits, daß vor dem Zeitpunkt der vom Werk angegebenen Lebensdauer die Lampe ersetzt wird.

Netzschwankungen werden durch ein Vorschaltgerät auf einem minimalen Schwankungsniveau gehalten. Weiterhin werden diese Fehler durch eine kurze Meßzeit, durch Wiederholungsmessungen und durch Mittelwertbildung vermieden (s. Kap. 5.9. u. Kap. 8.).

9.1.1.2 FEHLERMÖGLICHKEITEN BEIM MONOCHROMATOR

Staub und Kratzer an optischen Teilen des Monochromators können zu Schwankungen in der Reinheit des monochromatischen Lichtes führen.
Die der Außenluft und damit der Verstaubung ausgesetzten Teile werden vor Beginn einer Meßreihe sorgfältig gereinigt und zwischen den einzelnen Meßdurchläufen mit Folien abgedeckt.

9.1.1.3 FEHLER BEIM SCHRITTMOTOR UND BEIM GETRIEBE

Auf Grund der Konstruktion der Schrittmotoren ist die Exaktheit der Winkelschritte sehr hoch (s. Kap. 5.3.). Eine ungewollte Winkelstellung wird seitens der Ansteuerelektronik und vom Rechner verhindert (Kap. 5.10., 6.). Manipulationen an der Steuerelektronik müssen vermieden werden, da dabei leicht der Trigger auf Rückwärtslauf gestellt wird.

9.1.1.4 FEHLER BEIM POLARISATOR

Ebenso wie die optischen Teile des Monochromators können Staub und Verunreinigung des Polarisators die Eigenschaften des polarisierten Lichtes verändern. Verhinderung dieser

siehe Kapitel 9.1.1.2.

9.1.1.5 FEHLER BEI DEN NÄHERUNGSINIATOREN

Die Konstruktion der verwendeten Näherungsschalter bedingt, daß die Ansprechung der Schalter immer zum gleichen Zeitpunkt erfolgt (s. Kap. 5.7.5.).
Sollte ein Näherungsschalter während einer Meßreihe ausfallen, oder wird von Fremdpersonen der Abstand der Schalter zum Kontaktstift geändert, so wird im Programm nicht weiter fortgefahren. Nach Austausch bzw. Neujustierung kann an gleicher Programmstelle die Messung fortgesetzt werden (s. a. Kap. 5.7.5.).

9.1.1.6 MIKROSKOPFEHLER

Ebenso wie die anderen optischen Teile der Anlage PAOLA müssen Verunreinigungen durch Staub und Fingerabdrücke berücksichtigt und vermieden werden.
Ungewollter Fremdlichteinfall sollte zusätzlich zur Raumabdunkelung durch eine lichtdichte Stoffabkleidung am Mikroskopstativ vermieden werden (s. Kap. 5.8.).

9.1.1.7 FEHLER BEIM PHOTOMULTIPLIER

Netzschwankungen können sich auf die Meßwerte des Sekundärelektronenvervielfachers auswirken. Sie werden durch einen Spannungskonstanthalter, der vorgeschaltet ist, minimiert. Noise und Dunkelstrom werden durch dieses Vorschalten ebenfalls fast vollständig unterdrückt (s. Kap. 5.9.).
Temperaturschwankungen im Untersuchungsraum werden durch

sorgfältige Temperaturüberwachung frühzeitig vermieden (s. Kap. 5.9).
Tritt eine Ermüdung des Photomultipliers (genauer der Photokathode) ein, so wird diese ausgewechselt. Eine Ermüdung ist an der höheren Verstärkung zu sehen, die notwendig ist, um einen Meßwert eines Referenzpräparates zu erzielen.

9.1.1.8 EINFLUSSGRÖSSEN AUF DEN RECHNER

Netzschwankungen können Einfluß auf die Genauigkeit elektronischer Bauteile nehmen. Besonders der Versatile Interface Adapter ist empfindlich (s. Kap. 5.10.).
Ein Vorschaltgerät mit Spannungskonstanthalter minimiert diese Einflußgröße. Temperaturschwankungen können die elektronischen Schaltkreise des Rechners beeinflussen. Störströme von nicht funkentstörten Geräten können einerseits die einzelne Messung beeinflussen, andererseits kann das Programm im Rechner durch starke Störströme, wie sie beim Einschalten der Xenonlampe entstehen, geschädigt werden. Aus diesen Gründen soll die Xenonlampe vor Einschalten der PAOLA-Zentraleinheit schon brennen.

9.1.1.9 FEHLER BEIM ÜBERTRAGEN UND SPEICHERN DER MESSWERTE

Zufällige Fehler beim Übertragen der Meßwerte auf Datasette werden durch doppeltes Aufzeichnen vermieden.
Außerdem werden die Daten auf besonders dicht beschichteten und elektronisch geprüften Kassetten abgespeichert (BASF

Compusette). Die Beschichtung dieser Kassetten gewährleistet,daß Daten nicht in "Löcher" fallen, die auf ungeprüften Kassetten vorhanden sind.

9.1.1.10 ABSCHLUSSBETRACHTUNG DER INSTRUMENTFEHLER

Die Elektronik des Rechners mit den Interfaces, aber auch die Elektronik des Photomultipliers sind so ausgelegt, daß ein Signifikanzniveau von Alpha gleich 0.01 gleich 1 Prozent besteht.
Dieses Signifikanzniveau ist hardwaremäßig festgelegt. Es bedeutet, daß von hundert Messungen maximal eine Messung nicht dem wahren Wert entspricht.

9.1.2 ABLESEFEHLER

Der Mensch ist beim Ablesen einer Skala nicht perfekt im Ablesen der Werte.
Beim "on-line-processing" mit einem Computer kann dieser Fehler gänzlich vermieden werden. Der Rechner übernimmt selbst die Meßwerte aus dem Photomultiplier, speichert sie auf Datasette ab. Menschliche Beeinflussungen können in die Meßwerterstellung nicht mehr einfließen.

9.1.3 BEEINFLUSSUNGEN DURCH NATÜRLICHE VARIATIONEN DES UNTERSUCHUNGSPRÄPARATES

Das menschliche Auge ist nicht in der Lage, submikroskopische Unterschiede im Präparat aufzuzeigen. Folglich können sich beim Auswählen des Meßfeldes eventuell auch inhomogene Präparatstellen im Untersuchungsfeld befinden.

9.1.4 FEHLER BEI WIEDERHOLUNGSMESSUNGEN

Werden Bausteine der Anlage ausgetauscht, findet z.B. ein Austausch der Xenonlampe statt, so können sich bei ein und demselben Meßfeld des gleichen Präparates unterschiedliche Meßwerte ergeben. Gleiches trifft auch für den Austausch des Photosensors des Photomultipliers zu.
Beim Vergleich von korrigierten Meßwerten (s. Kap. 8.) werden Fehler in Wiederholungsmessungen sehr gering gehalten, wenn Meßwert und Leerwert immer nur unter gleichen Bedingungen verglichen werden.

9.1.5 ZUSAMMENFASSUNG STATISTISCHE FEHLER

Statistische Fehler werden bei der Anlage PAOLA sehr gering gehalten. Sie sind nach der Gaußschen Normalverteilung zu erwarten.

9.2 SYSTEMATISCHE FEHLER

Systematische Fehler müssen vermeidbare Fehler sein. Sie führen zu einer Differenz zwischen Meßergebnis und wahrem Wert und verschieben die Ergebnisse in eine Richtung. Nur wenn eine Messung frei von systematischen Fehlern ist, kann sie nach Piller als akkurat bezeichnet werden. Ursachen können herrühren von defektem Gerät, unsauberer Justierung, sowie inkorrekten Operationen.

9.2.1 SYSTEMATISCHE FEHLERMÖGLICHKEITEN BEI DEN EINZELNEN BAUSTEINEN DER ANLAGE PAOLA

9.2.1.1 FEHLER BEI DEN LICHTQUELLEN

Bei den Messungen muß darauf geachtet werden, daß die Messungen einer Meßreihe alle mit der gleichen Lichtquelle (z.B. Xenonlampe) durchgeführt werden. Ein Vergleich von Meßreihen ist nur unter dieser Bedingung gegeben.
Vor Beginn einer Messung ist von der Übersichtsbeleuchtung auf die Xenonbeleuchtung, die in der Anlage PAOla meistens verwendet wird, umzuschalten. Filter an der Lichtquelle sind entweder immer in den Strahlengang zu schwenken oder immer in ausgeklappter Stellung zu halten.

9.2.1.2 FEHLERMÖGLICHKEITEN AM MONOCHROMATOR

Die Spaltbreite des Monochromators darf bei einer Meßreihe nicht verstellt werden.
Es muß darauf geachtet werden, daß das richtige Dispersionsprisma eingeschwenkt ist (unterschiedliche Dispersionsprismen bei Messungen im UV-Bereich und sichtbaren Lichtbereich).
Der Monochromator muß in der Höhe so justiert werden, daß der Austrittsstrahl des Monochromators zentriert in das Spiegelhaus eintritt (s. Kap. 5.2. und 5.8.).

9.2.1.3 FEHLERMÖGLICHKEITEN AM SCHRITTMOTOR

Wird aus welchen Gründen auch immer eine Messreihe abgebrochen, so muß der Schrittmotor vor Beginn einer Meßreihe

in die Anfangsposition zurückgefahren werden.
Da der Rechner kein "feed-back" über die Position des Schrittmotors erhält, würde bei der neuen Meßreihe für den Rechner die Messung wieder mit Schritt 1 beginnen, obwohl die Position des Schrittmotors von Schritt 1 ganz verschieden ist.

9.2.1.4 FEHLERMÖGLICHKEITEN AM MIKROSKOP

Es muß darauf geachtet werden, daß die einzelnen Messungen entweder mit Deckglas oder alle ohne Deckglas durchgeführt werden. Quarzglas- und Normalglasobjektträger geben unterschiedliche Meßwerte.
Die Objektiv-Okularjustierung muß bei einer Messreihe beibehalten werden.
Die Analysatorjustierung darf während der einzelnen Meßreihe nicht verändert werden.
Der Strahlengang darf kein Fremdlicht aufnehmen. Der Raum soll abgedunkelt sein. Die Abdunkelungsmanschette soll am Mikroskopstativ angelegt sein.
Der Phototubus muß so eingestellt sein, daß kein Licht über die Okulare in den Strahlengang zum Photomultiplier fallen kann.

9.2.1.5 SYSTEMATISCHE FEHLER BEIM PHOTOMULTIPLIER

Die Verstärkung des Photomultipliers darf bei den Meßdurchgängen, die verglichen werden sollen, nicht variiert werden. Bei unterschiedlicher Verstärkung sind Vergleiche von Meßreihen nicht möglich.

9.2.1.6 FEHLER BEIM ABSPEICHERN DER DATEN

Beim Abspeichern der Daten bekommt jeder Meßdurchlauf einen Namen, der die wichtigsten Informationen bezüglich des Präparates, sowie Mikroskop- und Photomultipliereinstellungen enthält. Es dürfen nur Leer- und Meßwerte mit gleichen Einstellungen verglichen werden.

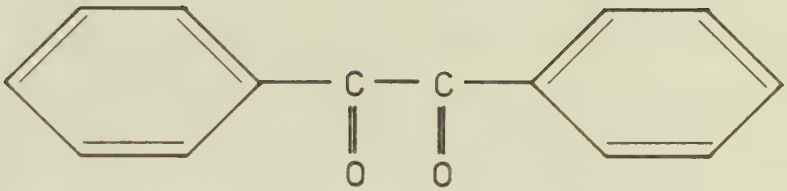
10. ANWENDUNGSBEISPIEL BENZIL

Im folgenden Kapitel soll am Beispiel Benzil die Arbeitsweise der Anlage PAOLA verdeutlicht werden.

10.1 EIGENSCHAFTEN VON BENZIL

Benzil ist ein aromatisches Diketon, das aus zwei Molekülen Benzaldehyd sythetisiert wird. Als Zwischenstoff entsteht Benzoin - als Racemat , welches zu Benzil oxydiert wird (s. Strukturformel Benzil).
Benzil ist ein aromatisches Diketon mit einem Schmelzpunkt zwischen 94,0 bis 95,0 Grad Celsius (BEYER 1968, VOGEL 1948). Das selbst synthetisierte Benzil hat einen Schmelzpunkt von 94,5 bis 95 Grad Celsius, der Stoff ist damit reinst.
Benzil kristallisiert in hellgelben, transparenten Kristallen, die eine nadelförmige Konfiguration zeigen, aus.

Durch Lösung der Kristalle in Aqua bidest. und Aufbringen auf einen Objektträger kann nach leichter Erhitzung und einseitiger Abkühlung eine gerichtete Auskristallisation der Benzilkristalle erreicht werden .
Nach NEUMÜLLER (1974) gehört Benzil neben Quarz, Weinsäure, Natriumchlorat u.ä. zu den Stoffen, die in größeren Kristallen die Ebene des polarisierten Lichtes drehen.
Benzil besitzt weder eine Symmetrieebene, noch eine Drehspiegelachse.



BENZIL

MOLEKULARGEWICHT:	210
SCHMELZPUNKT:	94,5 - 95° CELSIUS

Abb. 20 STRUKTURFORMEL BENZIL

10.2 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Nach Einschalten der Xenonlampe (30 Minuten Vorwärmzeit) wird der restliche Teil der Anlage PAOLA zugeschaltet. Das Programm wird von der Datasette geladen. Der Name des Meßdurchlaufes wird in den Computer eingegeben. Die Anlage ist nun für den Meßdurchlauf bereit.

Für den Leerwertdurchlauf wird ein Quarzobjektträger mit Deckglas in den Strahlengang gebracht. Am LEITZ Mikroskop Orthoplan ist das Objektiv P 40 / 0,65 in den Strahlengang eingeschwenkt.
Am Photomultiplier wird die Meßfeldblende 3,0 entsprechend 9,0 mm und die Verstärkung von 0,8 KV eingestellt.
Nach Scharfstellung wird von der Übersichtsbeleuchtung auf die Meßbeleuchtung der Xenonlampe umgeschaltet.
Nach Überprüfung der Schrittmotorendstellung sowie der Verdunkelung kann der Leerwertmeßdurchlauf gestartet werden, Die erhaltenen Meßwerte werden auf der Datasette gespeichert.

Für den Durchlauf der Benzil-Probe wird der leere Objektträger gegen einen mit Benzil beschichteten Quarzobjektträger ausgetauscht.

Das kristalline Benzil wird auf dem Objektträger in Aqua bidest. aufgelöst und leicht über einer Gasflamme erwärmt. Durch einseitige Abkühlung wird eine gerichtete Auskristallisation unter dem Deckglas erreicht.
Der mit Benzil in dieser Weise beschichtete Objektträger kann auf dem kombinierten Dreh-Kreuztisch des Mikroskopes exakt in Nord-Süd-Richtung einjustiert werden.

Nach Scharfstellung bei Übersichtsbeleuchtung erfolgt Umstellung auf die Xenonlampe und Meßdurchlauf. Die Daten werden wiederum unter einem Meßdurchlaufnamen auf Datasette abgespeichert.

10.3 AUSWERTUNG UND ERGEBNISSE

Für die Auswertung der Daten kann bis auf Rechner, Drucker und Datasette der restliche Teil der Anlage PAOLA abgeschaltet werden.

Nach Eingabe des Auswertungsprogrammes kann die gewünschte Auswertung erfolgen (s. Kap. 8.3.).

Für die Probe Benzil werden alle Auswertungsmöglichkeiten dargestellt (s.u.).

Auf einen Teilausdruck von Kurven wurde für das Beispiel Benzil verzichtet, um den gesamten Kurvenverlauf darzustellen. Bei weiteren Beispielen kann durch einfache Eingabe in den Rechner auch ein kurzer Kurvenabschnitt dargestellt werden, wenn nur dieser für bestimmte Untersuchungen interessant erscheint.

Wie oben beschrieben werden pro Umdrehung des Polarisators insgesamt 5 Mittelwerte aus 16 Einzelwerten gebildet (s. Kap. 8.).Bei der graphischen Abbildung werden die einzelnen Mittelwerte mit Symbolen auf der Y-Achse (von links nach rechts verlaufend) dargestellt, während die x-Achse (von oben nach unten verlaufend) die einzelnen Schritte darstellt.

Als Symbole wurden verwendet:

♦4/4 = Maximum

*3/4 = 3/4-Maximum

*2/4 = 1/2-Maximum

*1/4 = 1/4-Maximum

*0/4 = Minimum

Die Y-Achse zeigt die Werte in einer Aufspreizung von O Volt bis 19,99 Volt an. Um Speicherkapazität im Rechner zu sparen wurde auf den Ausdruck der Dimension Volt verzichtet. Den Wert von 10 Volt markieren Pfeile am Ober- und Unterrand jeder Seite.

Wiederum um Speicherkapazität zu sparen wurde auf die Ausdruckung der Kommata verzichtet. Es muß beachtet werden, daß ein Wert von 1999 der Tabelle einem Meßwert von 19,99 Volt entspricht.

Der graphischen Darstellung gegenüber ist die numerische Auswertung abgedruckt.

Fallen Meßwerte nahe zusammen, so kann mit dem verwendeten Drucker keine Differenzierung einzelner Meßwerte erfolgen. Diese Werte werden graphisch dann als x ausgedruckt. Betrachtet man z.B. Schritt 58 der Leerwertkurve (LW400.8) auf Blatt 2, so stellt man fest, daß die Werte des Maximums (1,04 Volt) und des 3/4-Maximums (0,95 Volt) für die graphische Darstellung zu eng zusammenliegen. Folglich wird hier ein X anstelle der beiden Symbole für Maximum und 3/4-Maximum ausgedruckt.

Bei der Leerwertkurve sieht man deutlich, daß die Stellung der einzelnen Minima und Maxima von Schritt zu Schritt nicht untereinander verschoben wird.

Es resultiert die unten dargestellte aufgespreizte Kurve.

Auch der numerischen Darstellung ist zu entnehmen, daß die höchsten Meßwerte immer in der Rubrik Maximum zu finden sind.

Die Darstellung der Rohbenzil-Kurve zeigt deutlich Unterschiede zur Leerwertkurve. Das Meßwertmaximum bei der Leerwertkurve von 13,40 Volt bei Schritt 120 wird bei der unkorrigierten Benzil-Kurve nicht erreicht, da die Benzilkristalle natürlich mehr Licht absorbieren als der leere Objektträger beim Leerwert.
Auch an der Kurvenform der Benzildarstellung wird deutlich, daß hier Effekte aufgetreten sind. Bei den numerischen Werten zeigt sich, daß sich die Position des Maximums bei vielen Schritten verschoben hat. Die Doppelbrechung des Benzils hat zu einer Drehung der Ebene des polarisierten Lichtes geführt.

Um die eigentliche Polarisation des Benzils darzustellen, wurden die Werte für jeden Schritt und jeder "Maximum"-Position des Leerwertes und des Benzilwertes subtrahiert. Die resultierende Kurve (LW400.8 – Benzil) ist ausgedruckt.
Diese Realmeßwertkurve des Benzils ist vollkommen ohne die Polarisationseffekte im Strahlengang des Mikroskops. Auch andere Einflußgrößen, die jeweils gleichanteilig im Leerwert bzw. Benzilrohwert enthalten sind, fallen fort unter der Voraussetzung, daß die Meßreihen wirklich unter den oben angegebenen standardisierten Bedingungen durchgeführt wurden.
Wie oben in diesem Kapitel schon angedeutet, treten Ver-

schiebungen der Maximapositionen zwischen Leerwert und unkorrigiertem Benzilmeßwert auf. Hierdurch können beim korrigierten Meßwert (LW - Benzil) negative Werte auftreten. Da die erste Ausbaustufe der Anlage PAOLA nur mit einem Drucker arbeitet, konnten in der graphischen Darstellung negative Werte nicht ausgedruckt werden. Sie werden als Wert Null auf Y-Achse wiedergegeben. Als Beispiel sei der Schritt 88 LW400.8 - Benzil genannt . Die Werte für das 1/4-Maximum und das Minimum betragen - 0,55 Volt bzw. - 1,88 Volt und werden in der graphischen Darstellung als Nullwert (x) gedruckt.
Beim weiteren Ausbau der Anlage mit einem Plotter ist die vollständige graphische Darstellung möglich.
Vorläufig sind die exakten Werte der numerischen Tabelle zu entnehmen.

Mit der korrigierten Meßwertkurve des Benzils erhalten wir eine charakteristische Kurve bzw. charakteristische Meßwerte des Untersuchungsstoffes. Diese Kurve stellt die Eigenpolarisationseffekte des Benzils dar. Die Polarisationseffekte durch das Mikroskop, Objektträger, Deckglas und andere polarisierende Einflußgrößen können durch Subtraktion vom Leerwert weitgehend eliminiert werden.

10.3.1 NUMERISCHE UND GRAPHISCHE DARSTELLUNG DES LEERWERTES (LW 400.8)

Objektiv: LEITZ P 40 / 0.65

Photomultiplierverstärkung: 0.8 KV

\# = Schrittnummer (entsprechende Wellenlänge s. Tab. 2 i. Anhang)

1000 = 10.00 Volt

♦4/4 = Maximum

♦3/4 = 3/4-Maximum

♦2/4 = 1/2-Maximum

▪1/4 = 1/4-Maximum

●0/4 = Minimum

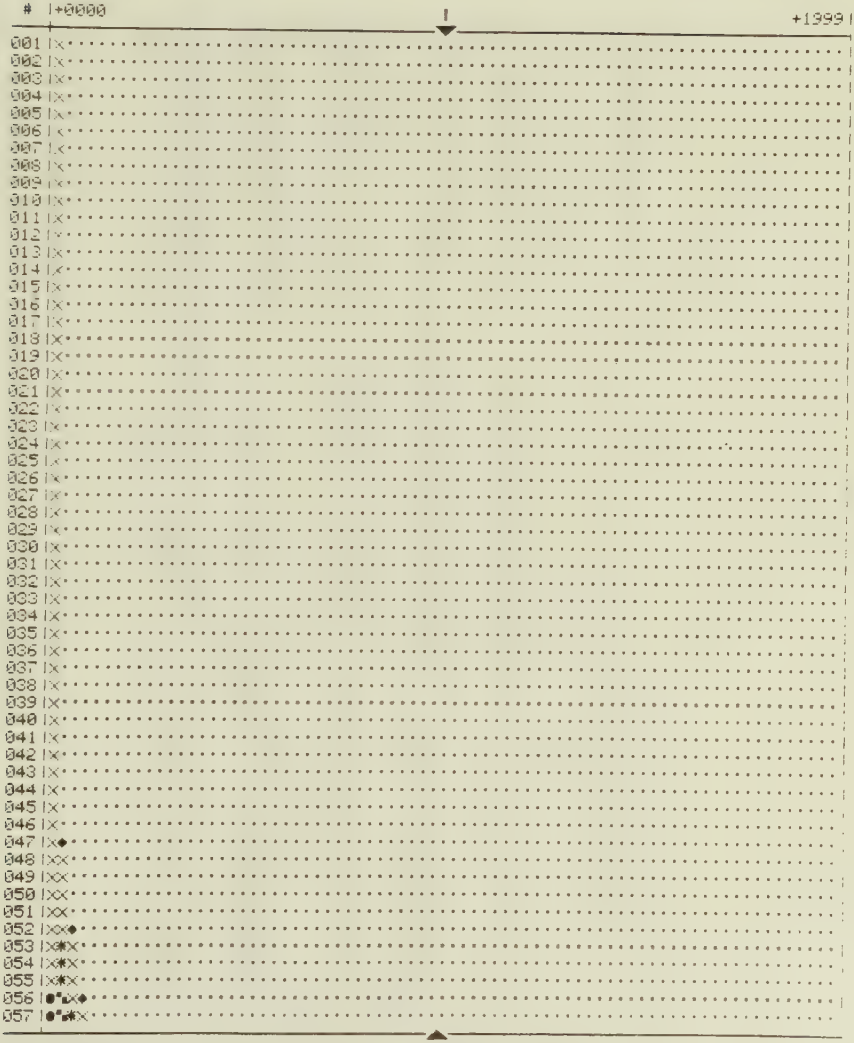
BLATT 1

PAOLA 81.0 LW480.8 STAND: 28.04.82

#	♦4/4	♠3/4	♥2/4	♣1/4	●0/4
001	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
002	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
003	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
004	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
005	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
006	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
007	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
008	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
009	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
010	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
011	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
012	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
013	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
014	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
015	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
016	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
017	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
018	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
019	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
020	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
021	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
022	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
023	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
024	-0001	-0002	-0001	-0001	-0001
025	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
026	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
027	-0002	-0002	-0001	-0001	-0001
028	-0002	-0002	-0002	-0001	-0001
029	-0002	-0002	-0002	-0001	-0001
030	-0002	-0002	-0002	-0001	-0001
031	-0002	-0002	-0002	-0002	-0001
032	-0002	-0002	-0002	-0002	-0001
033	-0003	-0003	-0002	-0002	-0001
034	-0003	-0003	-0002	-0002	-0001
035	-0003	-0003	-0002	-0002	-0001
036	-0004	-0004	-0003	-0002	-0002
037	-0005	-0005	-0004	-0002	-0002
038	-0006	-0006	-0004	-0003	-0002
039	-0007	-0007	-0005	-0003	-0002
040	-0009	-0008	-0006	-0004	-0002
041	-0011	-0010	-0007	-0004	-0003
042	-0013	-0012	-0009	-0005	-0003
043	-0015	-0014	-0010	-0005	-0003
044	-0018	-0016	-0012	-0006	-0004
045	-0021	-0019	-0014	-0008	-0004
046	-0025	-0022	-0016	-0008	-0005
047	-0029	-0026	-0018	-0010	-0005
048	-0034	-0031	-0022	-0011	-0006
049	-0038	-0035	-0025	-0013	-0007
050	-0044	-0039	-0028	-0014	-0008
051	-0049	-0045	-0032	-0016	-0008
052	-0055	-0051	-0036	-0018	-0010
053	-0062	-0056	-0040	-0020	-0011
054	-0069	-0063	-0045	-0023	-0012
055	-0077	-0070	-0050	-0025	-0013
056	-0086	-0078	-0056	-0029	-0015
057	-0094	-0086	-0062	-0031	-0016

BLATT 1

PAOLA 81.0 LW400.8 STAND: 28.04.82

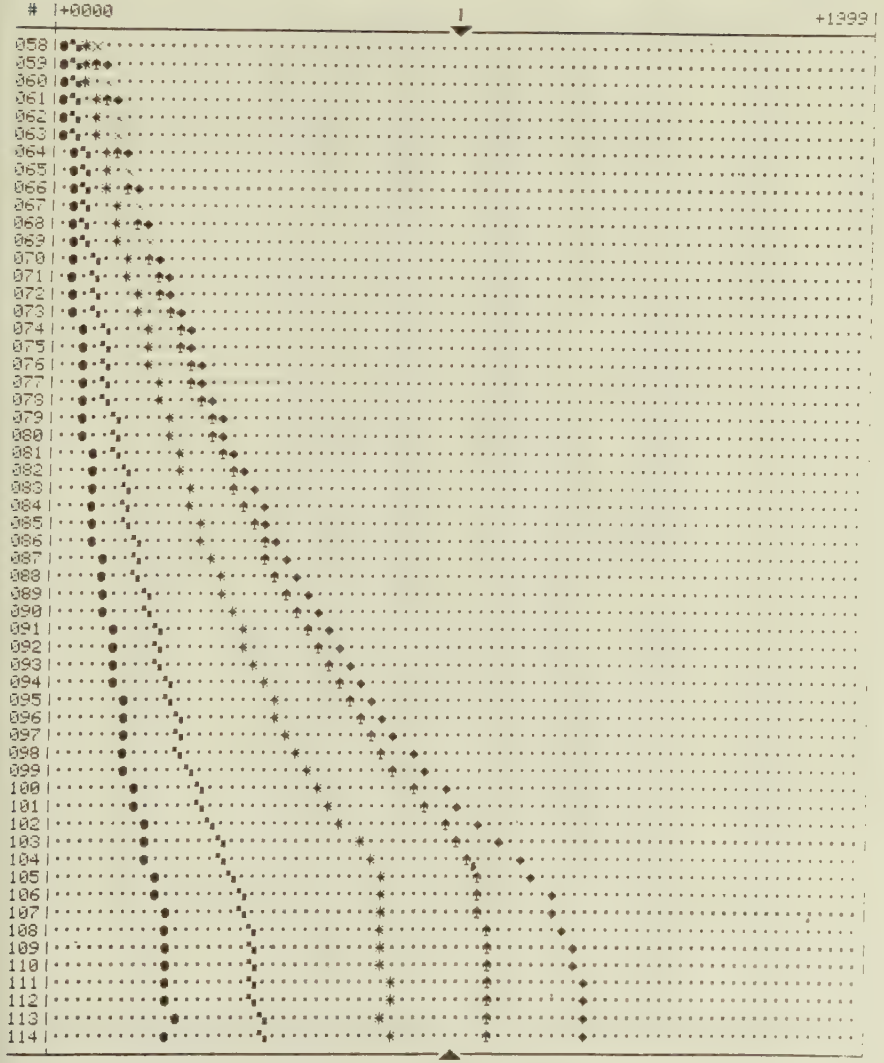


PAOLA 81.0 LW400.8 STAND 28.04.82

#	ϕ4,4	ϕ3,4	ϕ2,4	ϕ1,4	ϕ0,4
058	-0104	-0095	-0066	-0034	-0018
059	-0114	-0104	-0074	-0037	-0020
060	-0125	-0115	-0081	-0041	-0021
061	-0137	-0125	-0090	-0044	-0023
062	-0149	-0136	-0097	-0048	-0024
063	-0160	-0147	-0106	-0052	-0027
064	-0173	-0160	-0114	-0058	-0029
065	-0186	-0171	-0123	-0062	-0031
066	-0200	-0184	-0132	-0066	-0034
067	-0214	-0197	-0142	-0071	-0037
068	-0227	-0208	-0150	-0076	-0040
069	-0243	-0225	-0162	-0081	-0042
070	-0260	-0240	-0173	-0087	-0046
071	-0273	-0253	-0184	-0092	-0049
072	-0291	-0269	-0195	-0098	-0051
073	-0308	-0283	-0205	-0105	-0054
074	-0326	-0301	-0217	-0110	-0057
075	-0341	-0315	-0227	-0116	-0060
076	-0357	-0330	-0240	-0123	-0064
077	-0376	-0348	-0252	-0129	-0069
078	-0395	-0364	-0266	-0134	-0072
079	-0412	-0382	-0276	-0143	-0079
080	-0432	-0400	-0291	-0149	-0080
081	-0452	-0417	-0304	-0157	-0084
082	-0474	-0440	-0319	-0165	-0088
083	-0497	-0459	-0335	-0173	-0094
084	-0517	-0476	-0348	-0181	-0099
085	-0537	-0499	-0361	-0187	-0101
086	-0558	-0517	-0376	-0196	-0107
087	-0578	-0538	-0390	-0204	-0112
088	-0607	-0560	-0410	-0215	-0119
089	-0634	-0586	-0427	-0223	-0124
090	-0663	-0612	-0447	-0234	-0130
091	-0690	-0637	-0462	-0245	-0137
092	-0707	-0654	-0479	-0256	-0145
093	-0742	-0683	-0497	-0263	-0148
094	-0768	-0712	-0520	-0276	-0156
095	-0799	-0738	-0543	-0285	-0164
096	-0833	-0768	-0562	-0299	-0168
097	-0857	-0793	-0585	-0311	-0175
098	-0893	-0828	-0608	-0323	-0183
099	-0921	-0858	-0631	-0335	-0188
100	-0980	-0908	-0665	-0358	-0204
101	-1020	-0945	-0695	-0375	-0212
102	-1066	-0986	-0726	-0390	-0221
103	-1115	-1022	-0764	-0407	-0231
104	-1165	-1044	-0793	-0429	-0243
105	-1139	-1055	-0811	-0449	-0256
106	-1243	-1065	-0823	-0461	-0261
107	-1263	-1075	-0829	-0478	-0272
108	-1295	-1082	-0834	-0491	-0283
109	-1309	-1086	-0835	-0498	-0288
110	-1321	-1088	-0836	-0505	-0291
111	-1335	-1092	-0838	-0507	-0295
112	-1334	-1091	-0838	-0509	-0287
113	-1329	-1093	-0837	-0516	-0298
114	-1330	-1092	-0838	-0514	-0292

BLATT 3

PAOLA 81.0 LW400.8 STAND: 28.04.82

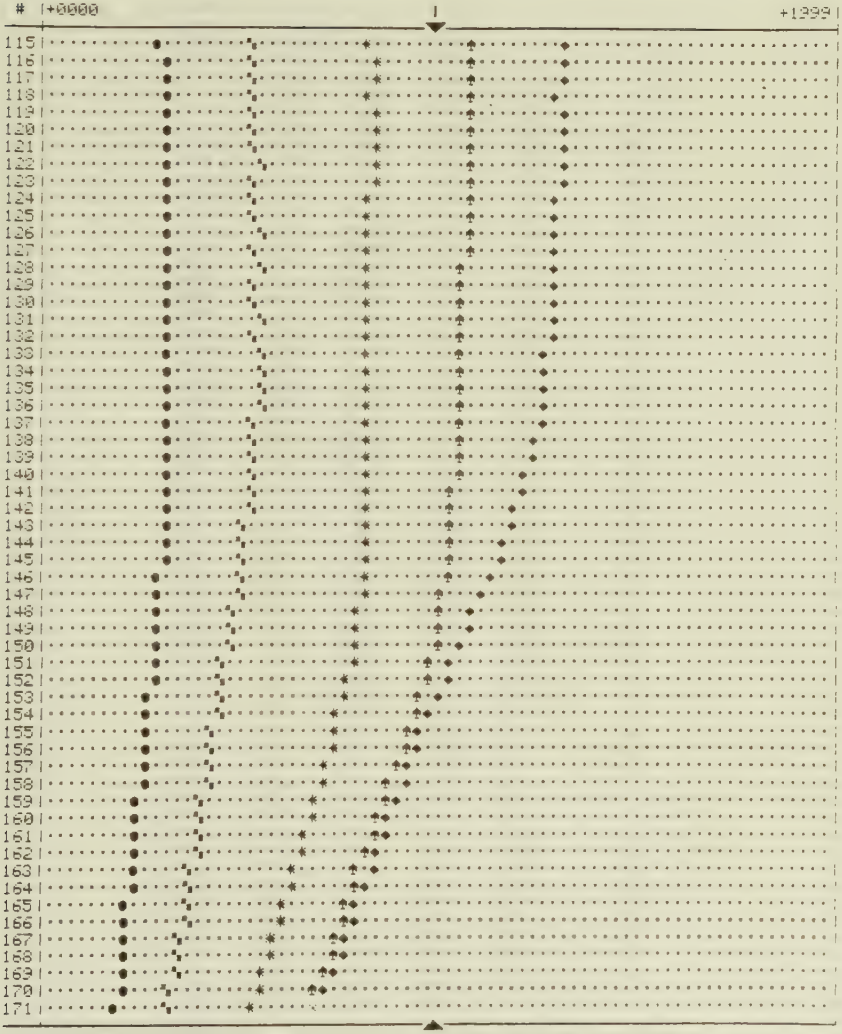


PAOLA 81.0 LW400.8 STAND 28.04.82

#	ϕ4/4	ϕ3/4	ϕ2/4	ϕ1/4	ϕ0/4
115	-1332	-1091	-0836	-0519	-0296
116	-1336	-1092	-0839	-0519	-0300
117	-1338	-1091	-0839	-0528	-0301
118	-1319	-1089	-0837	-0530	-0313
119	-1328	-1091	-0839	-0530	-0303
120	-1340	-1092	-0839	-0535	-0305
121	-1339	-1091	-0840	-0538	-0314
122	-1336	-1090	-0840	-0541	-0310
123	-1326	-1085	-0838	-0539	-0313
124	-1305	-1082	-0837	-0535	-0305
125	-1323	-1086	-0837	-0538	-0308
126	-1311	-1083	-0835	-0541	-0314
127	-1317	-1081	-0834	-0539	-0312
128	-1305	-1079	-0835	-0541	-0310
129	-1313	-1078	-0836	-0539	-0311
130	-1307	-1077	-0835	-0539	-0313
131	-1301	-1074	-0834	-0546	-0320
132	-1310	-1076	-0834	-0538	-0313
133	-1296	-1074	-0833	-0542	-0311
134	-1296	-1072	-0834	-0543	-0320
135	-1286	-1070	-0833	-0547	-0317
136	-1275	-1068	-0832	-0543	-0320
137	-1272	-1064	-0832	-0535	-0312
138	-1267	-1064	-0830	-0535	-0319
139	-1247	-1057	-0827	-0532	-0320
140	-1236	-1055	-0825	-0528	-0314
141	-1221	-1051	-0822	-0521	-0310
142	-1213	-1047	-0824	-0515	-0306
143	-1197	-1044	-0822	-0513	-0305
144	-1172	-1036	-0818	-0507	-0306
145	-1165	-1033	-0816	-0497	-0298
146	-1145	-1028	-0815	-0497	-0296
147	-1120	-1021	-0813	-0488	-0289
148	-1106	-1018	-0809	-0481	-0289
149	-1083	-1008	-0802	-0474	-0288
150	-1066	-1004	-0797	-0465	-0280
151	-1049	-0993	-0788	-0458	-0274
152	-1030	-0981	-0779	-0453	-0274
153	-1008	-0968	-0766	-0444	-0270
154	-0992	-0949	-0754	-0441	-0264
155	-0970	-0935	-0741	-0429	-0258
156	-0958	-0921	-0731	-0423	-0256
157	-0932	-0901	-0715	-0416	-0254
158	-0921	-0885	-0706	-0407	-0244
159	-0900	-0868	-0691	-0400	-0240
160	-0889	-0856	-0680	-0392	-0239
161	-0870	-0841	-0667	-0387	-0231
162	-0854	-0822	-0655	-0382	-0232
163	-0838	-0810	-0642	-0372	-0221
164	-0826	-0795	-0633	-0366	-0223
165	-0810	-0778	-0618	-0357	-0212
166	-0795	-0766	-0607	-0353	-0214
167	-0772	-0745	-0593	-0344	-0209
168	-0757	-0730	-0578	-0335	-0201
169	-0743	-0716	-0567	-0325	-0196
170	-0724	-0698	-0553	-0321	-0195
171	-0700	-0677	-0536	-0310	-0187

BLATT 3

PAOLA 81.0 LW400.8 STAND: 28.04.82

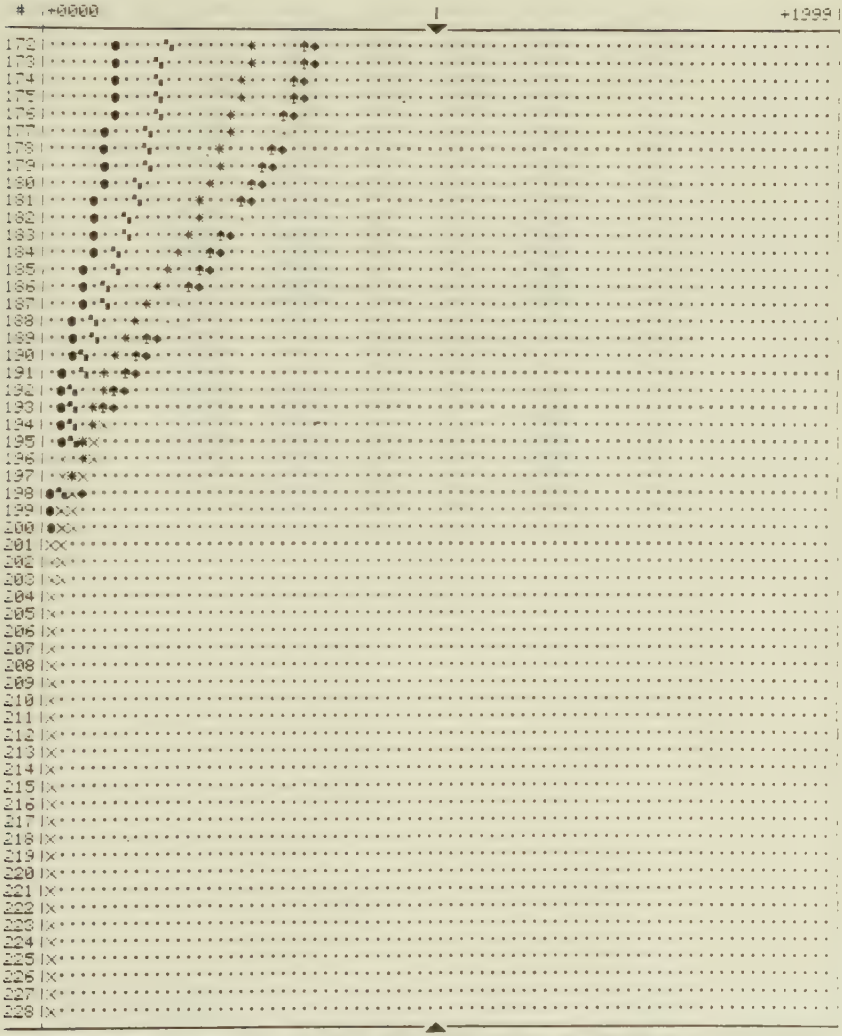


PAOLA 81.0 LW400.8 STAND: 28.04.82

#	♦4/4	♦3/4	♦2/4	♦1/4	♦0/4
172	-0692	-0664	-0524	-0302	-0185
173	-0682	-0652	-0516	-0297	-0179
174	-0665	-0640	-0504	-0288	-0172
175	-0649	-0623	-0491	-0283	-0172
176	-0634	-0607	-0479	-0275	-0165
177	-0620	-0595	-0467	-0268	-0162
178	-0603	-0579	-0453	-0260	-0155
179	-0584	-0559	-0437	-0248	-0149
180	-0559	-0532	-0418	-0239	-0143
181	-0535	-0511	-0398	-0227	-0134
182	-0509	-0487	-0380	-0215	-0129
183	-0481	-0458	-0355	-0202	-0121
184	-0452	-0429	-0331	-0189	-0113
185	-0414	-0393	-0306	-0175	-0106
186	-0384	-0365	-0281	-0159	-0094
187	-0350	-0333	-0256	-0144	-0086
188	-0319	-0302	-0232	-0131	-0079
189	-0285	-0270	-0205	-0116	-0069
190	-0252	-0237	-0181	-0102	-0061
191	-0222	-0208	-0159	-0090	-0054
192	-0193	-0182	-0139	-0079	-0047
193	-0171	-0160	-0121	-0070	-0043
194	-0152	-0142	-0109	-0062	-0038
195	-0134	-0125	-0095	-0055	-0035
196	-0117	-0109	-0083	-0049	-0031
197	-0100	-0093	-0071	-0042	-0028
198	-0085	-0080	-0061	-0037	-0025
199	-0073	-0069	-0053	-0032	-0021
200	-0064	-0059	-0046	-0029	-0019
201	-0053	-0050	-0039	-0024	-0017
202	-0041	-0039	-0031	-0020	-0014
203	-0030	-0028	-0023	-0015	-0010
204	-0020	-0019	-0016	-0011	-0008
205	-0012	-0012	-0010	-0007	-0005
206	-0007	-0007	-0006	-0005	-0004
207	-0005	-0005	-0004	-0004	-0003
208	-0003	-0004	-0003	-0003	-0002
209	-0003	-0003	-0003	-0003	-0002
210	-0002	-0002	-0002	-0002	-0002
211	-0002	-0002	-0002	-0002	-0001
212	-0002	-0002	-0002	-0002	-0001
213	-0002	-0002	-0002	-0002	-0001
214	-0002	-0002	-0002	-0001	-0001
215	-0002	-0002	-0002	-0001	-0001
216	-0002	-0002	-0002	-0002	-0001
217	-0001	-0002	-0002	-0001	-0001
218	-0001	-0002	-0002	-0001	-0001
219	-0001	-0002	-0002	-0001	-0001
220	-0001	-0002	-0001	-0001	-0001
221	-0001	-0002	-0002	-0001	-0001
222	-0001	-0002	-0002	-0001	-0001
223	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
224	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
225	-0001	-0001	-0002	-0001	-0001
226	-0001	-0002	-0002	-0001	-0001
227	-0001	-0002	-0001	-0001	-0001
228	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001

BLATT 4

PAOLA 81.0 LW400.S STAND 28.04.82

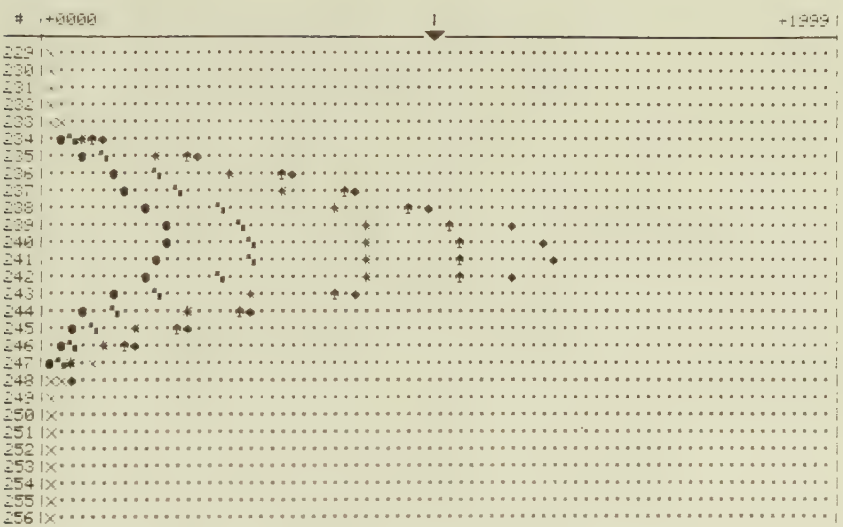


PAOLA 81.0 LW400.S STAND: 28.04.82

#	♦4/4	♠3/4	♥2/4	♣1/4	●0/4
229	-0001	-0002	-0002	-0001	-0001
230	-0001	-0002	-0002	-0001	-0001
231	-0002	-0002	-0002	-0001	-0001
232	-0004	-0004	-0004	-0003	-0003
233	-0033	-0031	-0025	-0016	-0011
234	-0145	-0135	-0103	-0059	-0038
235	-0389	-0369	-0285	-0150	-0095
236	-0628	-0603	-0474	-0274	-0164
237	-0793	-0762	-0604	-0350	-0209
238	-0983	-0945	-0749	-0433	-0263
239	-1135	-1043	-0824	-0510	-0302
240	-1285	-1073	-0833	-0527	-0308
241	-1298	-1079	-0836	-0518	-0295
242	-1205	-1055	-0811	-0449	-0257
243	-0793	-0732	-0538	-0287	-0163
244	-0538	-0496	-0361	-0189	-0104
245	-0360	-0334	-0242	-0124	-0066
246	-0221	-0204	-0147	-0075	-0038
247	-0125	-0114	-0081	-0041	-0020
248	-0059	-0054	-0038	-0019	-0010
249	-0024	-0022	-0016	-0008	-0005
250	-0008	-0007	-0006	-0003	-0002
251	-0003	-0003	-0003	-0002	-0001
252	-0002	-0002	-0002	-0001	-0001
253	-0002	-0002	-0001	-0001	-0001
254	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
255	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
256	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001

BLATT 5

PAOLA 81.0 LW400.8 STAND 28.04.82



10.3.2 NUMERISCHE UND GRAPHISCHE DARSTELLUNG

BENZIL (UNKORRIGIERTE WERTE)

Objektiv: LEITZ P 40 / 0.65

Photomultiplierverstärkung: 0.8 KV

\# = Winkelschritt (entsprechende Wellenlänge s. Anhang Tab. 2)

1000 = 10.00 Volt

*4/4 = Maximum

*3/4 = 3/4-Maximum

*2/4 = 1/2-Maximum

*1/4 = 1/4-Maximum

*0/4 = Minimum

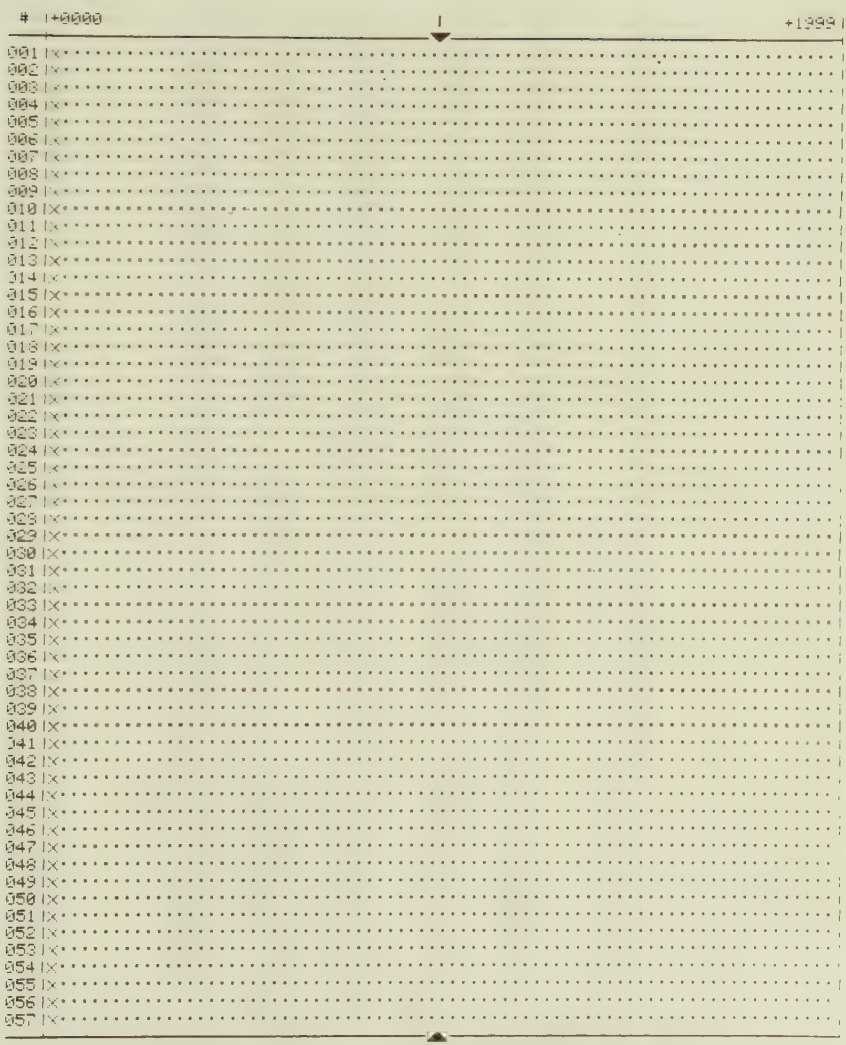
BLATT 1

PAOLA 81.0 BENZIL STAND 28.04.82

#	♦4/4	♦3/4	♦2/4	♦1/4	♦0/4
001	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
002	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
003	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
004	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
005	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
006	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
007	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
008	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
009	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
010	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
011	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
012	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
013	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
014	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
015	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
016	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
017	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
018	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
019	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
020	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
021	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
022	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
023	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
024	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
025	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
026	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
027	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
028	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
029	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
030	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
031	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
032	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
033	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
034	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
035	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
036	-0001	-0001	-0001	-0002	-0001
037	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
038	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
039	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
040	-0001	-0002	-0001	-0001	-0001
041	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
042	-0001	-0001	-0001	-0002	-0001
043	-0002	-0001	-0002	-0001	-0001
044	-0002	-0002	-0002	-0002	-0001
045	-0001	-0001	-0002	-0002	-0002
046	-0002	-0002	-0002	-0002	-0002
047	-0002	-0002	-0002	-0002	-0002
048	-0002	-0002	-0002	-0002	-0001
049	-0002	-0002	-0002	-0002	-0002
050	-0002	-0002	-0002	-0002	-0002
051	-0002	-0002	-0002	-0002	-0002
052	-0002	-0002	-0002	-0002	-0002
053	-0002	-0002	-0002	-0002	-0002
054	-0002	-0002	-0002	-0002	-0002
055	-0002	-0002	-0002	-0003	-0003
056	-0002	-0002	-0003	-0003	-0003
057	-0002	-0002	-0003	-0003	-0003

BLATT 1

PAOLA 81.0 BENZIL STAND: 28.04.82

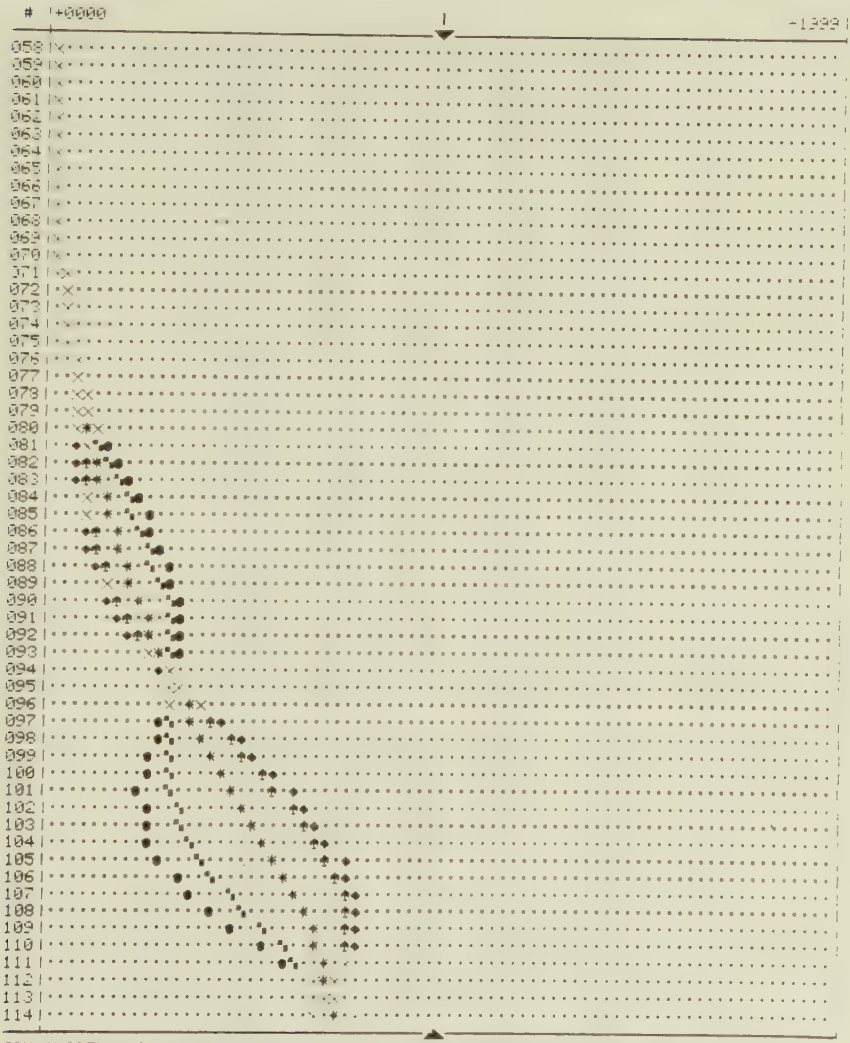


PAOLA 81.0 BENZIL STAND 28.04.82

#	♦4/4	♦3/4	♦2/4	♦1/4	●0/4
358	-0002	-0002	-0003	-0004	-0004
359	-0002	-0003	-0004	-0004	-0005
360	-0002	-0003	-0004	-0005	-0005
361	-0003	-0004	-0005	-0006	-0006
362	-0003	-0004	-0005	-0007	-0007
363	-0004	-0005	-0006	-0008	-0008
364	-0005	-0006	-0008	-0009	-0009
365	-0006	-0008	-0009	-0011	-0011
366	-0008	-0009	-0011	-0012	-0013
367	-0011	-0012	-0014	-0015	-0015
368	-0014	-0015	-0017	-0017	-0016
369	-0018	-0019	-0020	-0019	-0019
370	-0022	-0023	-0024	-0022	-0021
371	-0027	-0029	-0029	-0026	-0024
372	-0033	-0034	-0034	-0031	-0029
373	-0038	-0040	-0040	-0036	-0034
374	-0045	-0046	-0046	-0043	-0040
375	-0051	-0053	-0053	-0050	-0048
376	-0057	-0059	-0061	-0060	-0058
377	-0063	-0066	-0070	-0072	-0071
378	-0067	-0072	-0079	-0085	-0087
379	-0071	-0077	-0089	-0100	-0103
380	-0074	-0081	-0098	-0116	-0123
381	-0076	-0084	-0107	-0132	-0144
382	-0078	-0089	-0118	-0152	-0168
383	-0081	-0094	-0129	-0172	-0191
384	-0085	-0099	-0142	-0194	-0219
385	-0090	-0105	-0153	-0213	-0244
386	-0097	-0114	-0168	-0236	-0270
387	-0107	-0124	-0182	-0254	-0289
388	-0121	-0138	-0197	-0270	-0307
389	-0137	-0154	-0212	-0285	-0322
390	-0157	-0174	-0227	-0298	-0333
391	-0184	-0198	-0245	-0306	-0336
392	-0215	-0227	-0262	-0311	-0337
393	-0255	-0262	-0285	-0317	-0333
394	-0297	-0299	-0306	-0318	-0324
395	-0342	-0339	-0328	-0318	-0313
396	-0391	-0383	-0352	-0316	-0300
397	-0444	-0428	-0378	-0316	-0286
398	-0491	-0471	-0402	-0316	-0273
399	-0536	-0512	-0424	-0314	-0260
100	-0586	-0554	-0448	-0316	-0251
101	-0624	-0590	-0471	-0319	-0243
102	-0661	-0623	-0493	-0328	-0246
103	-0698	-0658	-0518	-0339	-0251
104	-0729	-0688	-0545	-0359	-0267
105	-0759	-0716	-0572	-0387	-0295
106	-0781	-0742	-0603	-0418	-0328
107	-0801	-0761	-0633	-0461	-0376
108	-0802	-0772	-0658	-0504	-0429
109	-0801	-0776	-0679	-0549	-0485
110	-0788	-0771	-0699	-0600	-0550
111	-0774	-0761	-0715	-0648	-0614
112	-0747	-0745	-0728	-0698	-0681
113	-0717	-0725	-0735	-0742	-0747
114	-0679	-0695	-0735	-0785	-0810

BLATT 2

PAOLA 81.0 BENZIL STAND: 28.04.82



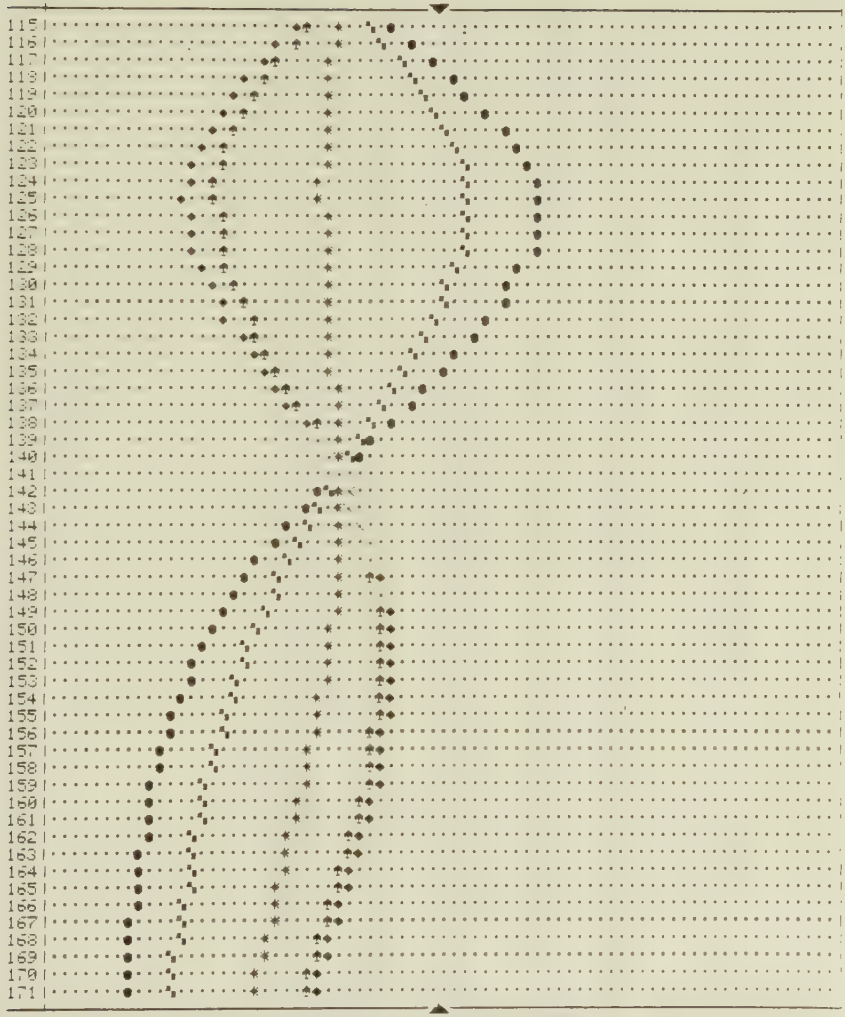
EIN SYSTEM DER SRS GMBH & CO. KG, MOENCHENGLADBACH, TEL. 02161 - 3 50 31.32

PAOLA 81.0 BENZIL STAND: 28.04.82

#	♦4/4	♦3/4	♦2/4	♦1/4	♦0/4
115	-0638	-0662	-0735	-0825	-0868
116	-0591	-0626	-0730	-0861	-0906
117	-0548	-0588	-0725	-0897	-0982
118	-0508	-0557	-0715	-0928	-1032
119	-0468	-0524	-0711	-0957	-1080
120	-0435	-0497	-0709	-0991	-1129
121	-0409	-0476	-0707	-1017	-1169
122	-0380	-0454	-0705	-1041	-1207
123	-0366	-0443	-0705	-1055	-1233
124	-0356	-0432	-0702	-1070	-1253
125	-0349	-0427	-0701	-1074	-1259
126	-0358	-0433	-0707	-1074	-1261
127	-0357	-0438	-0705	-1072	-1258
128	-0371	-0445	-0706	-1062	-1243
129	-0389	-0457	-0706	-1045	-1214
130	-0407	-0473	-0707	-1026	-1188
131	-0435	-0497	-0712	-1012	-1162
132	-0458	-0515	-0713	-0982	-1116
133	-0487	-0539	-0717	-0962	-1085
134	-0519	-0563	-0722	-0936	-1040
135	-0548	-0591	-0729	-0913	-1006
136	-0585	-0620	-0736	-0881	-0965
137	-0618	-0647	-0741	-0860	-0913
138	-0653	-0676	-0748	-0836	-0877
139	-0684	-0702	-0750	-0805	-0831
140	-0715	-0727	-0754	-0775	-0784
141	-0744	-0752	-0756	-0749	-0742
142	-0766	-0768	-0754	-0717	-0696
143	-0780	-0781	-0748	-0687	-0649
144	-0801	-0797	-0746	-0658	-0609
145	-0825	-0817	-0751	-0638	-0580
146	-0837	-0824	-0744	-0615	-0540
147	-0851	-0833	-0744	-0594	-0511
148	-0861	-0842	-0737	-0568	-0477
149	-0870	-0848	-0731	-0551	-0449
150	-0870	-0848	-0728	-0529	-0425
151	-0873	-0846	-0715	-0505	-0394
152	-0881	-0855	-0716	-0494	-0376
153	-0877	-0848	-0704	-0482	-0356
154	-0874	-0847	-0698	-0463	-0336
155	-0870	-0839	-0690	-0452	-0320
156	-0864	-0836	-0682	-0441	-0305
157	-0864	-0832	-0675	-0427	-0291
158	-0851	-0821	-0666	-0417	-0282
159	-0838	-0812	-0655	-0404	-0270
160	-0834	-0803	-0648	-0395	-0261
161	-0823	-0791	-0636	-0390	-0251
162	-0802	-0774	-0621	-0377	-0244
163	-0788	-0763	-0612	-0374	-0239
164	-0781	-0753	-0603	-0361	-0228
165	-0765	-0738	-0591	-0353	-0223
166	-0749	-0722	-0578	-0347	-0223
167	-0737	-0710	-0569	-0338	-0214
168	-0722	-0694	-0556	-0332	-0210
169	-0705	-0677	-0542	-0323	-0203
170	-0695	-0667	-0533	-0317	-0197
171	-0679	-0654	-0521	-0311	-0194

BLATT 3

PAOLA 81.0 BENZIL STAND: 28.04.82



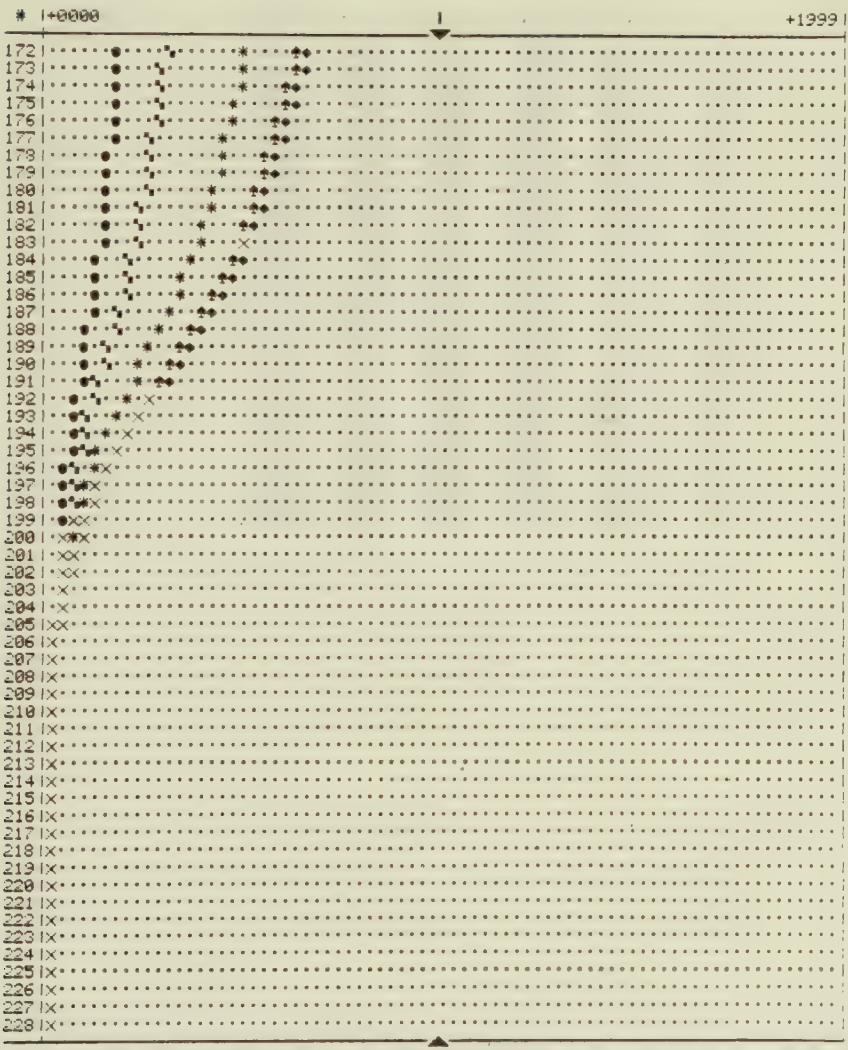
EIN SYSTEM DER SRS GMBH & CO. KG, MOENCHENGLADBACH, TEL. 02161 - 3 60 31

PAOLA 81.0 BENZIL STAND: 28.04.82

#	♦4/4	♦3/4	♦2/4	♦1/4	●0/4
172	-0666	-0640	-0509	-0300	-0187
173	-0653	-0627	-0500	-0294	-0184
174	-0635	-0613	-0488	-0288	-0180
175	-0624	-0601	-0477	-0282	-0177
176	-0607	-0584	-0464	-0274	-0174
177	-0598	-0572	-0455	-0267	-0168
178	-0586	-0564	-0445	-0260	-0160
179	-0572	-0550	-0435	-0258	-0162
180	-0561	-0538	-0425	-0249	-0154
181	-0546	-0523	-0412	-0240	-0150
182	-0529	-0506	-0399	-0234	-0145
183	-0510	-0488	-0382	-0223	-0138
184	-0487	-0466	-0366	-0214	-0133
185	-0469	-0445	-0348	-0201	-0125
186	-0440	-0418	-0327	-0190	-0118
187	-0414	-0393	-0308	-0179	-0111
188	-0383	-0364	-0284	-0167	-0105
189	-0354	-0336	-0263	-0155	-0099
190	-0326	-0309	-0241	-0142	-0091
191	-0298	-0281	-0219	-0130	-0084
192	-0267	-0252	-0196	-0118	-0078
193	-0238	-0224	-0175	-0105	-0070
194	-0207	-0195	-0153	-0094	-0064
195	-0179	-0170	-0133	-0083	-0057
196	-0154	-0148	-0117	-0075	-0053
197	-0134	-0127	-0102	-0068	-0050
198	-0117	-0111	-0090	-0062	-0048
199	-0101	-0096	-0079	-0057	-0046
200	-0085	-0082	-0068	-0051	-0043
201	-0072	-0069	-0059	-0046	-0039
202	-0060	-0058	-0051	-0040	-0035
203	-0051	-0050	-0043	-0036	-0032
204	-0044	-0042	-0038	-0032	-0028
205	-0036	-0035	-0031	-0027	-0024
206	-0027	-0027	-0024	-0021	-0019
207	-0019	-0019	-0017	-0015	-0014
208	-0013	-0012	-0012	-0010	-0010
209	-0008	-0008	-0007	-0007	-0006
210	-0005	-0005	-0005	-0005	-0004
211	-0004	-0004	-0004	-0004	-0003
212	-0003	-0003	-0003	-0003	-0002
213	-0002	-0002	-0002	-0002	-0002
214	-0002	-0002	-0002	-0002	-0002
215	-0002	-0002	-0002	-0002	-0002
216	-0002	-0002	-0002	-0002	-0001
217	-0002	-0002	-0002	-0001	-0001
218	-0002	-0002	-0002	-0002	-0001
219	-0001	-0002	-0002	-0001	-0001
220	-0002	-0002	-0002	-0001	-0001
221	-0002	-0002	-0001	-0001	-0001
222	-0001	-0002	-0002	-0001	-0001
223	-0001	-0001	-0002	-0001	-0001
224	-0001	-0002	-0001	-0001	-0001
225	-0001	-0002	-0001	-0001	-0001
226	-0001	-0002	-0001	-0001	-0001
227	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
228	-0002	-0001	-0001	-0001	-0001

BLATT 4

PAOLA 81.0 BENZIL STAND: 28.04.82



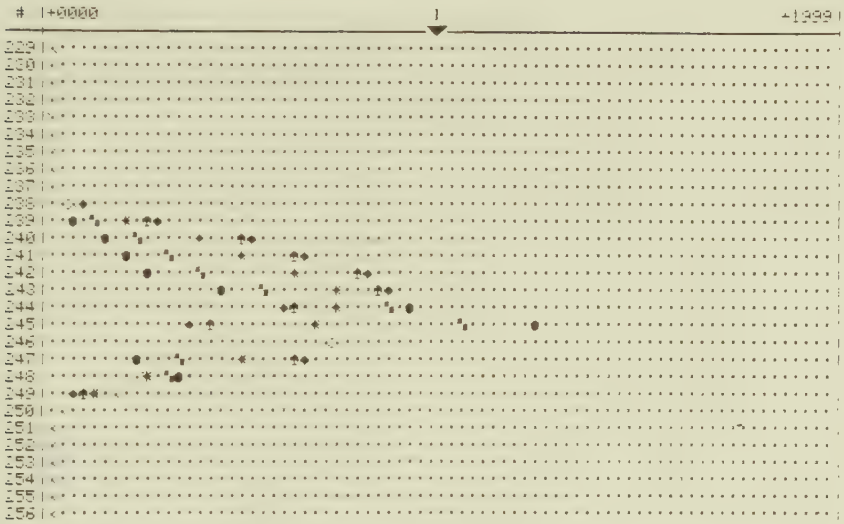
BLATT 5

PAOLA 81.0 BENZIL STAND: 28.04.82

#	♦4/4	♦3/4	✱2/4	▪1/4	●0/4
229	-0002	-0001	-0001	-0001	-0001
230	-0001	-0001	-0002	-0001	-0001
231	-0001	-0002	-0001	-0001	-0001
232	-0001	-0001	-0002	-0001	-0001
233	-0002	-0002	-0001	-0001	-0001
234	-0002	-0002	-0001	-0001	-0001
235	-0002	-0002	-0002	-0001	-0001
236	-0002	-0002	-0002	-0002	-0002
237	-0010	-0011	-0010	-0009	-0008
238	-0083	-0079	-0067	-0050	-0041
239	-0273	-0259	-0201	-0120	-0078
240	-0523	-0501	-0395	-0231	-0142
241	-0671	-0644	-0512	-0302	-0191
242	-0834	-0803	-0645	-0394	-0258
243	-0878	-0858	-0740	-0557	-0456
244	-0610	-0642	-0743	-0876	-0945
245	-0355	-0431	-0702	-1072	-1261
246	-0722	-0724	-0732	-0735	-0734
247	-0663	-0625	-0495	-0325	-0240
248	-0220	-0229	-0261	-0306	-0329
249	-0080	-0092	-0126	-0167	-0188
250	-0045	-0046	-0046	-0042	-0040
251	-0009	-0010	-0011	-0013	-0013
252	-0002	-0003	-0003	-0004	-0004
253	-0002	-0002	-0002	-0002	-0002
254	-0002	-0002	-0002	-0002	-0002
255	-0001	-0002	-0001	-0001	-0001
256	-0001	-0002	-0001	-0001	-0001

BLATT 5

PAOLA 81.0 BENZIL STAND 28.04.82



10.3.3 NUMERISCHE UND GRAPHISCHE DARSTELLUNG

BENZIL KORRIGIERTE WERTE (LW 400.8 - BENZIL)

Objektiv: LEITZ P 40 / 0.65

Photomultiplierverstärkung: 0.8 KV

\# = Winkelschritt

1000 = 10,00 Volt

♦4./4 = Maximum

♦3./4 = 3/4-Maximum

♦2./4 = 1/2-Maximum

♦1./4 = 1/4-Maximum

♦0./4 = Minimum

PAOLA 81.0 LW400.8
BENZIL

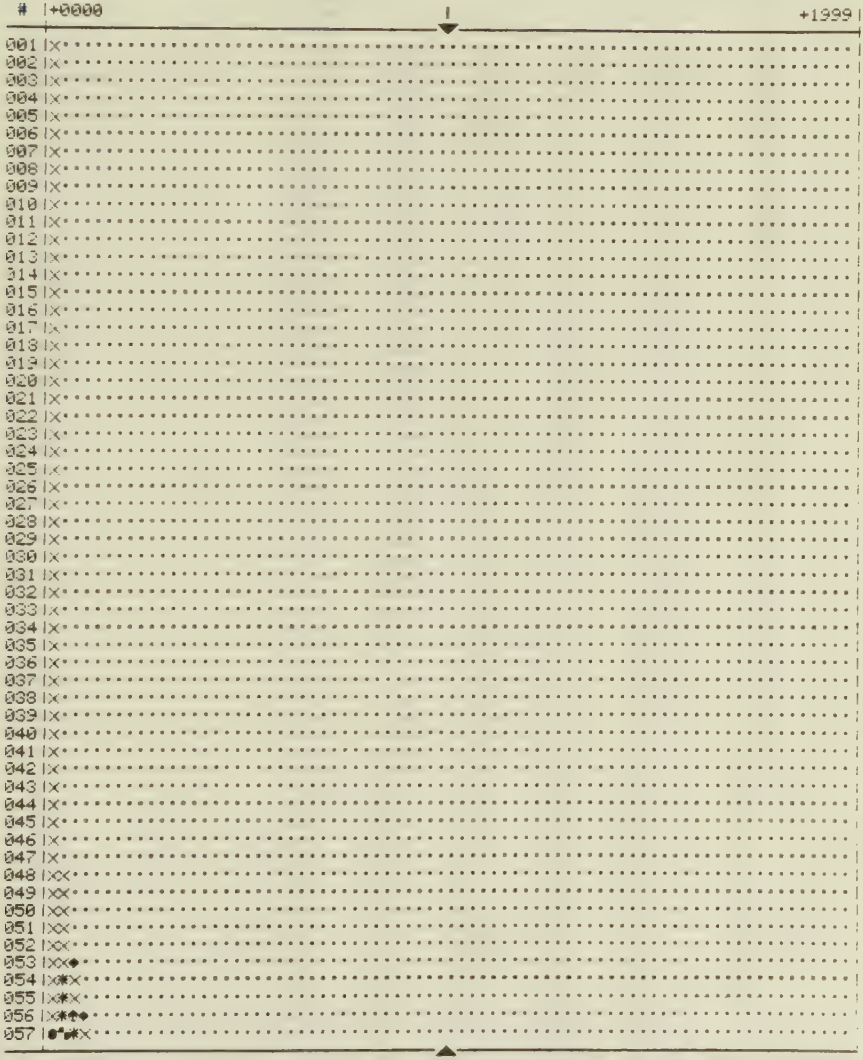
STAND 28.04.82
STAND 28.04.82

#	⁴/₄	³/₄	²/₄	¹/₄	⁰/₄
001	+0000	+0000	+0000	+0000	+0000
002	+0000	+0000	+0000	+0000	+0000
003	+0000	+0000	+0000	+0000	+0000
004	+0000	+0000	+0000	+0000	+0000
005	+0000	+0000	+0000	+0000	+0000
006	+0000	+0000	+0000	+0000	+0000
007	+0000	+0000	+0000	+0000	+0000
008	+0000	+0000	+0000	+0000	+0000
009	+0000	+0000	+0000	+0000	+0000
010	+0000	+0000	+0000	+0000	+0000
011	+0000	+0000	+0000	+0000	+0000
012	+0000	+0000	+0000	+0000	+0000
013	+0000	+0000	+0000	+0000	+0000
014	+0000	+0000	+0000	+0000	+0000
015	+0000	+0000	+0000	+0000	+0000
016	+0000	+0000	+0000	+0000	+0000
017	+0000	+0000	+0000	+0000	+0000
018	+0000	+0000	+0000	+0000	+0000
019	+0000	+0000	+0000	+0000	+0000
020	+0000	+0000	+0000	+0000	+0000
021	+0000	+0000	+0000	+0000	+0000
022	+0000	-0000	-0000	+0000	+0000
023	+0000	+0000	+0000	+0000	+0000
024	+0000	+0001	+0000	+0000	+0000
025	+0000	+0000	+0000	+0000	+0000
026	+0000	+0000	+0000	+0000	+0000
027	+0001	+0001	+0000	+0000	+0000
028	+0001	+0001	+0001	+0000	+0000
029	+0001	+0001	+0001	+0000	+0000
030	+0001	+0001	+0001	+0000	+0000
031	+0001	+0001	+0001	+0001	+0000
032	+0001	+0001	+0001	+0001	+0000
033	+0002	+0002	+0001	+0001	+0000
034	+0002	+0002	+0001	+0001	+0000
035	+0002	+0002	+0001	+0001	+0000
036	+0003	+0003	+0002	+0000	+0001
037	+0004	+0004	+0003	+0001	+0001
038	+0005	+0005	+0003	+0002	+0001
039	+0006	+0006	+0004	+0002	+0001
040	+0008	+0006	+0005	+0003	+0001
041	+0010	+0009	+0006	+0003	+0002
042	+0012	+0011	+0008	+0003	+0002
043	+0013	+0013	+0008	+0004	+0002
044	+0015	+0014	+0010	+0004	+0003
045	+0020	+0018	+0012	+0006	+0002
046	+0023	+0020	+0014	+0006	+0003
047	+0027	+0024	+0016	+0008	+0003
048	+0032	+0029	+0020	+0009	+0005
049	+0036	+0033	+0023	+0011	+0005
050	+0042	+0037	+0026	+0012	+0006
051	+0047	+0043	+0030	+0014	+0006
052	+0053	+0049	+0034	+0015	+0008
053	+0060	+0054	+0038	+0018	+0009
054	+0067	+0061	+0043	+0021	+0010
055	+0075	+0068	+0048	+0022	+0010
056	+0084	+0075	+0053	+0025	+0012
057	+0092	+0084	+0059	+0028	+0013

BLATT 1

PAOLA 81.0 LW400.8
BENZIL

STAND: 28.04.82
STAND: 28.04.82



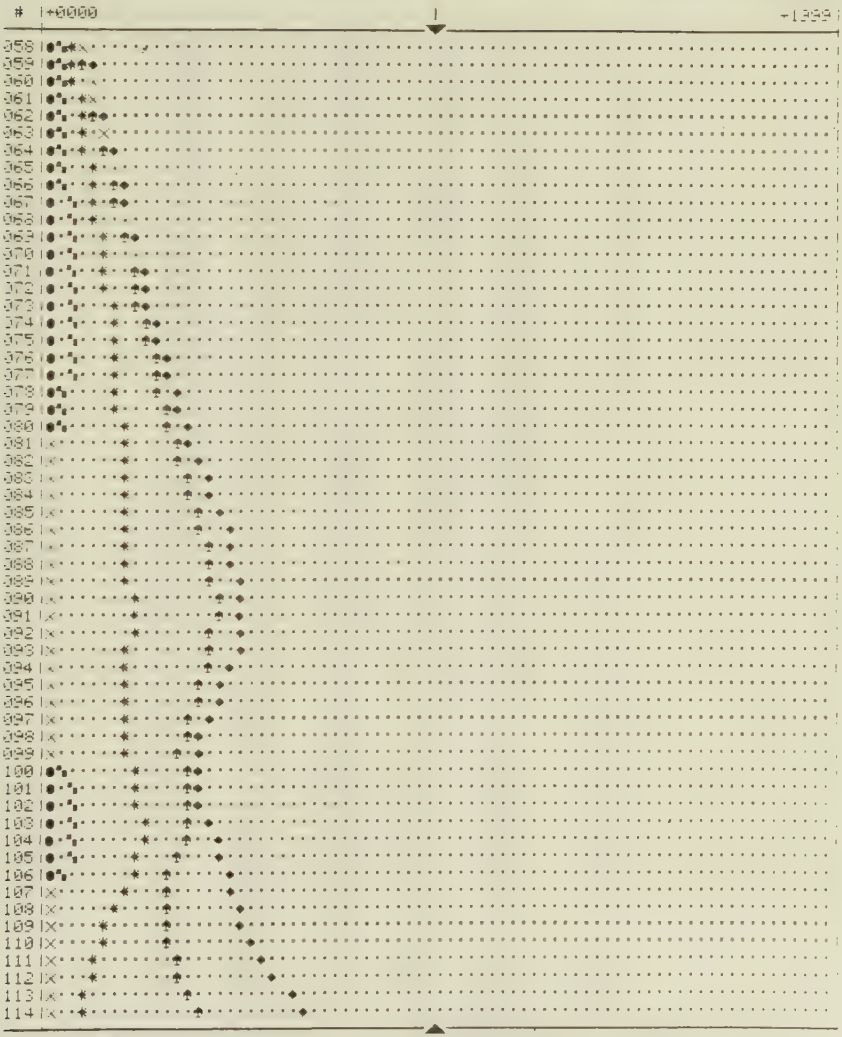
PAOLA 81.0 LW400.8 STAND: 28.04.82
BENZIL STAND: 28.04.82

#	♦4/4	♦3/4	*2/4	'1/4	●0/4
058	+0102	+0093	+0065	+0030	+0014
059	+0112	+0101	+0070	+0033	+0015
060	+0123	+0112	+0077	+0036	+0016
061	+0134	+0121	+0085	+0038	+0017
062	+0146	+0132	+0092	+0041	+0017
063	+0156	+0142	+0100	+0044	+0019
064	+0168	+0154	+0106	+0049	+0020
065	+0180	+0163	+0114	+0051	+0020
066	+0192	+0175	+0121	+0054	+0021
067	+0203	+0185	+0128	+0056	+0022
068	+0213	+0193	+0133	+0059	+0024
069	+0225	+0206	+0142	+0062	+0023
070	+0238	+0217	+0149	+0065	+0025
071	+0246	+0224	+0155	+0066	+0025
072	+0258	+0235	+0161	+0067	+0022
073	+0270	+0243	+0165	+0069	+0020
074	+0281	+0255	+0171	+0067	+0017
075	+0290	+0262	+0174	+0066	+0012
076	+0300	+0271	+0179	+0063	+0006
077	+0313	+0282	+0182	+0057	-0002
078	+0328	+0292	+0187	+0049	-0015
079	+0341	+0305	+0187	+0043	-0024
080	+0358	+0319	+0193	+0033	-0043
081	+0376	+0333	+0197	+0025	-0060
082	+0396	+0351	+0201	+0013	-0080
083	+0416	+0365	+0204	+0001	-0097
084	+0432	+0377	+0206	-0013	-0120
085	+0447	+0394	+0208	-0026	-0143
086	+0461	+0403	+0208	-0040	-0163
087	+0471	+0414	+0208	-0050	-0177
088	+0486	+0422	+0213	-0055	-0188
089	+0497	+0432	+0215	-0062	-0198
090	+0506	+0438	+0220	-0064	-0203
091	+0506	+0439	+0217	-0061	-0199
092	+0492	+0427	+0217	-0055	-0192
093	+0487	+0421	+0212	-0054	-0185
094	+0471	+0413	+0214	-0042	-0168
095	+0457	+0399	+0215	-0033	-0149
096	+0442	+0385	+0210	-0017	-0132
097	+0413	+0365	+0207	-0005	-0111
098	+0402	+0357	+0206	+0007	-0090
099	+0385	+0346	+0207	+0021	-0072
100	+0394	+0354	+0217	+0042	-0047
101	+0396	+0355	+0224	+0056	-0031
102	+0405	+0363	+0233	+0062	-0025
103	+0417	+0364	+0246	+0068	-0020
104	+0436	+0356	+0248	+0070	-0024
105	+0440	+0339	+0239	+0062	-0039
106	+0462	+0323	+0220	+0043	-0067
107	+0458	+0314	+0196	+0017	-0104
108	+0493	+0310	+0176	-0013	-0146
109	+0508	+0310	+0156	-0051	-0197
110	+0533	+0317	+0137	-0094	-0259
111	+0561	+0331	+0123	-0141	-0318
112	+0587	+0346	+0110	-0189	-0394
113	+0622	+0368	+0102	-0226	-0449
114	+0651	+0397	+0103	-0271	-0518

BLATT 1

PAOLA 81.0 LW400.8
BENZIL

STAND 28.04.82
STAND 28.04.82



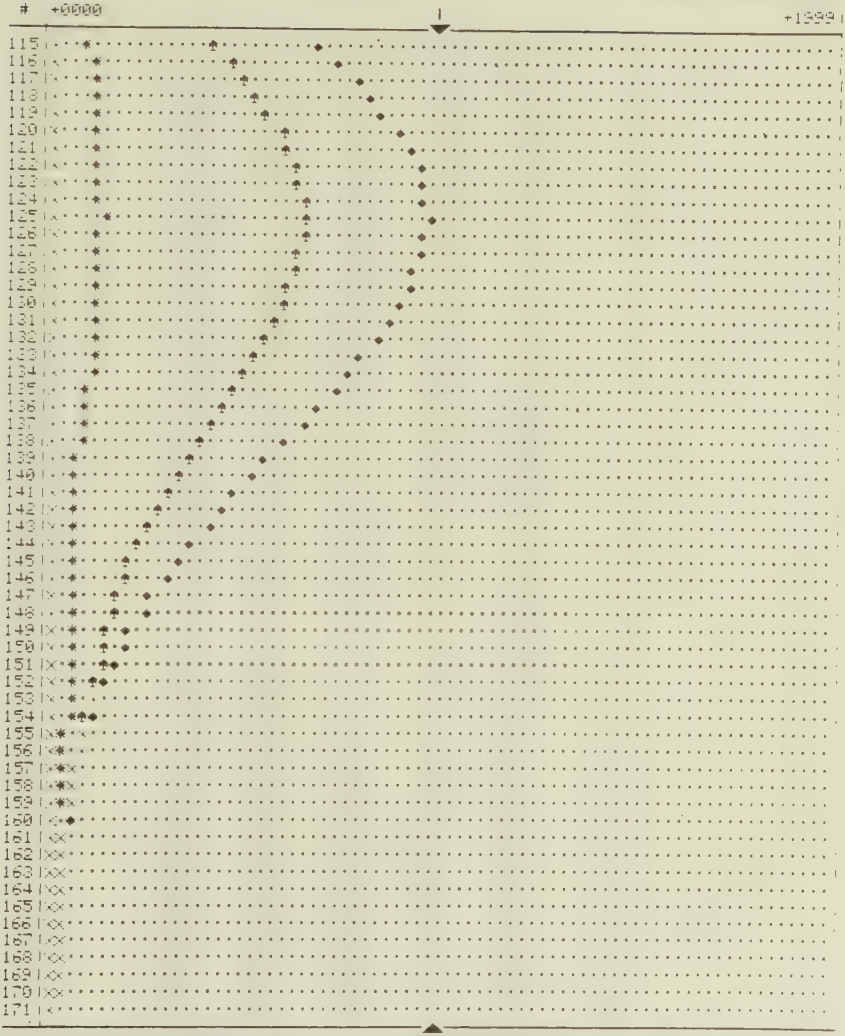
PAOLA 81.0 LW400.8 STAND 28.04.82
BENZIL STAND 28.04.82

#	♦4/4	♦3/4	♦2/4	♦1/4	♦0/4
115	+0934	+0429	+0101	-0306	-0572
116	+0745	+0466	+0109	-0342	-0636
117	+0790	+0503	+0114	-0362	-0681
118	-0811	+0532	+0122	-0388	-0713
119	+0860	+0567	+0123	-0427	-0777
120	+0905	+0595	+0130	-0456	-0824
121	+0930	+0615	+0133	-0479	-0855
122	+0956	+0636	+0135	-0500	-0897
123	+0960	+0642	+0133	-0516	-0920
124	+0949	+0650	+0135	-0535	-0948
125	+0974	+0659	+0136	-0536	-0951
126	+0953	+0650	+0128	-0533	-0947
127	+0960	+0643	+0129	-0533	-0946
128	+0934	+0634	+0129	-0521	-0933
129	+0924	+0621	+0130	-0506	-0903
130	+0900	+0604	+0128	-0487	-0875
131	+0866	+0577	+0122	-0466	-0842
132	+0852	+0561	+0121	-0444	-0803
133	+0809	+0535	+0116	-0420	-0774
134	-0777	-0509	+0112	-0393	-0720
135	+0738	+0479	+0104	-0366	-0689
136	+0690	+0448	+0096	-0348	-0645
137	+0654	+0417	+0091	-0325	-0607
138	+0614	+0388	+0082	-0301	-0558
139	+0563	+0355	+0077	-0273	-0511
140	+0521	+0328	+0071	-0247	-0470
141	+0477	+0299	+0066	-0228	-0432
142	+0447	+0279	+0070	-0202	-0390
143	+0417	+0263	+0074	-0174	-0344
144	+0371	+0239	+0072	-0151	-0303
145	+0340	+0216	+0065	-0141	-0282
146	+0308	+0204	+0071	-0118	-0244
147	+0263	+0188	+0069	-0106	-0222
148	+0245	+0176	+0072	-0087	-0188
149	+0213	+0160	+0071	-0077	-0161
150	+0186	+0156	+0063	-0064	-0145
151	+0176	+0147	+0073	-0047	-0120
152	+0149	+0126	+0063	-0041	-0102
153	+0131	+0120	+0062	-0038	-0086
154	+0118	+0102	+0056	-0022	-0072
155	+0102	+0096	+0051	-0023	-0062
156	+0094	+0085	+0049	-0018	-0049
157	+0068	+0069	+0040	-0011	-0037
158	+0070	+0064	+0040	-0010	-0038
159	+0062	+0056	+0036	-0004	-0030
160	+0055	+0053	+0032	-0003	-0022
161	+0047	+0050	+0031	-0003	-0020
162	+0052	+0048	+0034	+0005	-0012
163	+0050	+0047	+0030	-0002	-0018
164	+0045	+0042	+0030	+0005	-0005
165	+0045	+0040	+0027	+0004	-0011
166	+0046	+0044	+0029	+0006	-0009
167	+0035	+0035	+0024	+0006	-0005
168	+0035	+0036	+0022	+0003	-0009
169	+0038	+0039	+0025	-0002	-0007
170	+0029	+0031	+0020	+0004	-0002
171	+0022	+0023	+0015	-0001	-0007

BLATT 3

PAOLA 81.8 LW400.8 BENZIL

STAND 28.04.82
STAND 28.04.82

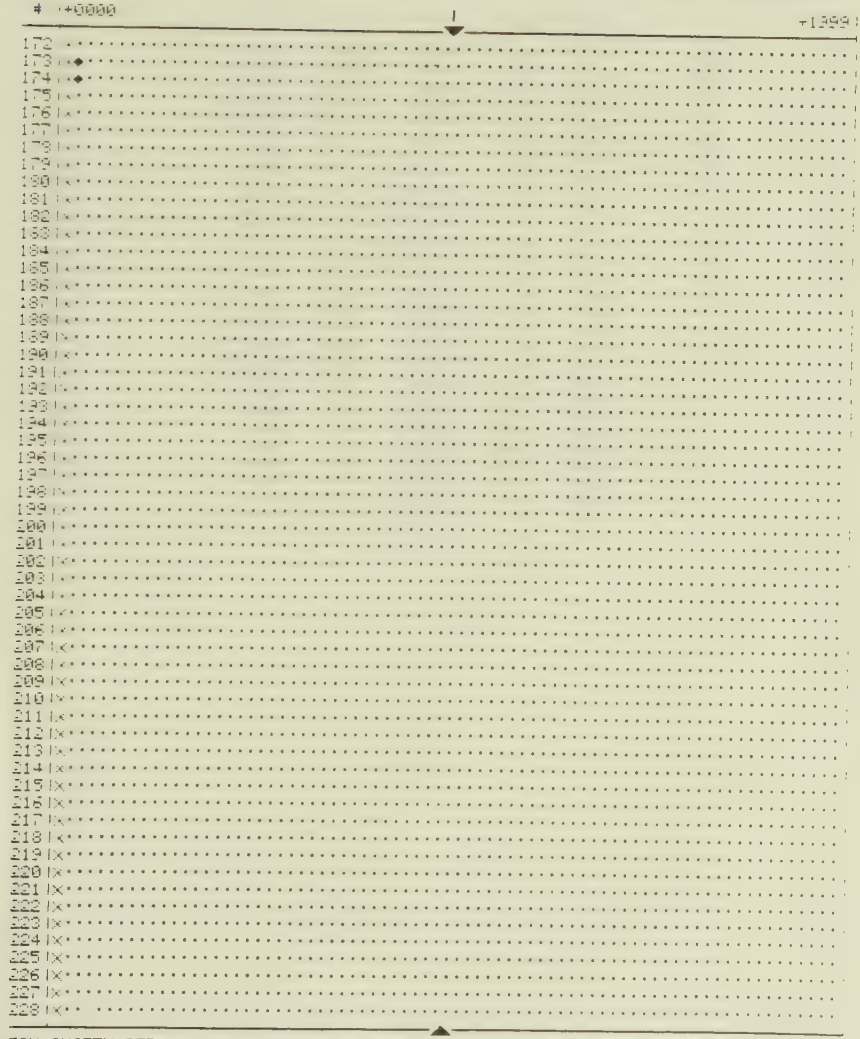


PAOLA 81.0 LW480.8 STAND 28.04.82
BENZIL STAND 28.04.82

#	♦4/4	♦3/4	♦2/4	♦1/4	♦0/4
172	+0026	+0024	+0015	+0002	-0002
173	+0029	+0025	+0016	+0003	-0005
174	+0030	+0027	+0016	+0000	-0008
175	+0025	+0022	+0014	+0001	-0005
176	+0027	+0023	+0015	+0001	-0009
177	+0022	+0023	+0012	+0001	-0006
178	+0017	+0015	+0008	+0000	-0005
179	+0012	+0009	+0002	-0010	-0013
180	-0002	-0006	-0007	-0010	-0011
181	-0011	-0012	-0014	-0013	-0016
182	-0020	-0019	-0019	-0019	-0016
183	-0029	-0030	-0027	-0021	-0017
184	-0035	-0037	-0035	-0025	-0020
185	-0055	-0052	-0042	-0026	-0019
186	-0056	-0053	-0046	-0031	-0024
187	-0064	-0060	-0052	-0035	-0025
188	-0064	-0062	-0052	-0036	-0026
189	-0063	-0066	-0058	-0039	-0030
190	-0074	-0072	-0060	-0040	-0030
191	-0075	-0073	-0060	-0040	-0030
192	-0074	-0070	-0057	-0038	-0031
193	-0067	-0064	-0054	-0035	-0027
194	-0055	-0053	-0044	-0032	-0026
195	-0045	-0045	-0038	-0028	-0022
196	-0037	-0039	-0034	-0026	-0022
197	-0034	-0034	-0031	-0025	-0022
198	-0032	-0031	-0029	-0025	-0023
199	-0028	-0027	-0026	-0025	-0025
200	-0021	-0023	-0023	-0022	-0024
201	-0019	-0019	-0020	-0022	-0022
202	-0019	-0019	-0020	-0020	-0021
203	-0021	-0022	-0020	-0021	-0022
204	-0024	-0023	-0022	-0021	-0020
205	-0024	-0023	-0021	-0020	-0019
206	-0020	-0020	-0018	-0016	-0015
207	-0014	-0014	-0013	-0011	-0011
208	-0010	-0008	-0009	-0007	-0008
209	-0005	-0005	-0004	-0004	-0004
210	-0003	-0003	-0003	-0003	-0002
211	-0002	-0002	-0002	-0002	-0002
212	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
213	+0000	+0000	+0000	+0000	-0001
214	+0000	+0000	+0000	-0001	-0001
215	+0000	+0000	+0000	-0001	-0001
216	+0000	+0000	+0000	+0000	+0000
217	-0001	+0000	+0000	+0000	+0000
218	-0001	+0000	+0000	-0001	+0000
219	+0000	+0000	+0000	+0000	+0000
220	-0001	+0000	-0001	+0000	+0000
221	-0001	+0000	+0001	+0000	+0000
222	+0000	+0000	+0000	+0000	+0000
223	+0000	+0000	-0001	+0000	+0000
224	+0000	-0001	+0000	+0000	+0000
225	+0000	-0001	+0001	+0000	+0000
226	+0000	+0000	+0001	+0000	+0000
227	+0000	+0001	+0000	+0000	+0000
228	-0001	+0000	+0000	+0000	+0000

PAOLA 81.0 LW400.8
BENZIL

STAND 28.04.82
STAND 18.04.82



PAOLA 81.0 LW400.8
BENZIL

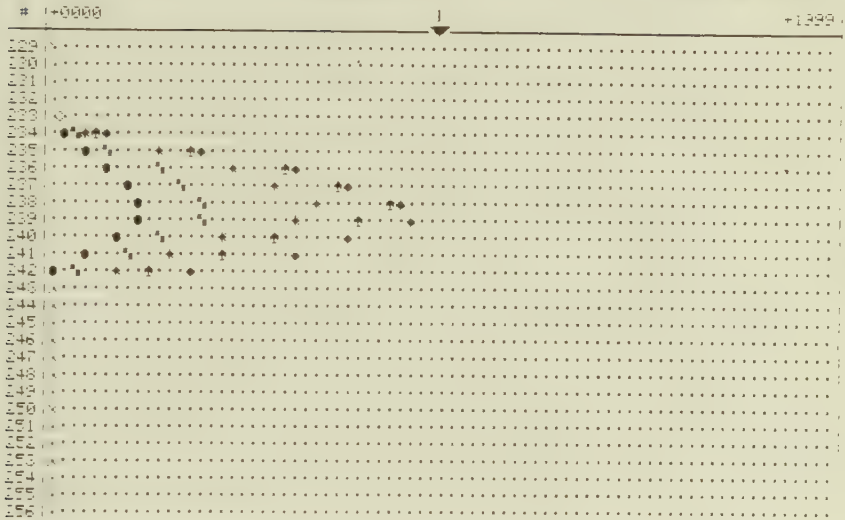
STAND: 18.04.82
STAND 18.04.82

#	+4/4	+3/4	+2/4	+1/4	00/4
229	-0001	+0001	+0001	+0000	+0000
230	+0000	+0001	+0000	+0000	+0000
231	+0001	+0000	+0001	+0000	+0000
232	+0003	+0003	+0002	+0002	+0002
233	+0031	+0029	+0024	+0015	+0010
234	+0143	+0133	+0102	+0058	+0037
235	+0387	+0367	+0283	+0159	+0094
236	+0626	+0601	+0472	+0272	+0162
237	+0785	+0751	+0594	+0341	+0201
238	+0900	+0866	+0682	+0383	+0222
239	+0922	+0784	+0622	+0390	+0224
240	+0762	+0572	+0438	+0296	+0166
241	+0527	+0435	+0324	+0216	+0104
242	+0371	+0252	+0166	+0055	-0001
243	-0085	-0126	-0202	-0270	-0293
244	-0072	-0146	-0382	-0587	-0841
245	+0005	-0097	-0460	-0948	-1195
246	-0501	-0520	-0585	-0660	-0696
247	-0538	-0511	-0414	-0284	-0220
248	-0161	-0175	-0223	-0287	-0319
249	-0056	-0070	-0110	-0159	-0183
250	-0037	-0039	-0040	-0039	-0038
251	-0006	-0007	-0008	-0011	-0012
252	+0000	-0001	-0001	-0003	-0005
253	+0000	+0000	-0001	-0001	-0001
254	-0001	-0001	-0001	-0001	-0001
255	+0000	-0001	+0000	+0000	+0000
256	+0000	-0001	+0000	+0000	+0000

BLATT 5

PAOLA 81.0 LW400.8
BENZIL

STAND 28.04.82
STAND 28.04.82



11. DISKUSSION

Der Einsatz der Polarisationsmikroskopie in der Medizin ermöglicht die Identifizierung bestimmter Stoffe. Meist wird allein die Tatsache, daß bestimmte Stoffe polarisieren zu deren Erkennen benutzt. So lassen sich Bindegewebsanteile in histologischen Schnitten identifizieren. Eine genaue Eingruppierung ist mit der meist verwendeten Anordnung von Polarisator und Analysator nicht möglich. SCHEUNER (1972) beschrieb schon den Einsatz von Sekundärelektronenvervielfachern zur genauen Bestimmung von Minima und Maxima bei polarisationsoptischen Untersuchungen.

Doch auch wenn viele Stoffe Polarisationseffekte zeigen, eine genaue Identifizierung ist oft erst mit biochemischen oder immunologischen Verfahren möglich. So lassen sich die verschiedenen Typen des Kollagens nur immunologisch differenzieren. Bei diesen immunologischen oder auch biochemischen Untersuchungen ist eine Zerstörung der morphologischen Struktur oft unumgänglich.

Werden Untersuchungen an feingeweblichen Schnitten mit der Polarisationsmikroskopie erstellt, bleibt die Struktur erhalten.

Mit der Anlage PAOLA wird ein Ansatz geboten, ohne Zerstörung der Struktur eine physikalische Identifizierung und Charakterisierung zu erstellen.
Der Molekularaufbau vieler Stoffe bedingt polarisationsoptische Effekte, die zum Teil nur sehr gering sind. Mit der Anlage PAOLA können auch geringe Polarisationseffekte aufgezeigt werden.

Die übliche Anordnung von Polarisator und Analysator wird bei der Anlage PAOLA nicht angewendet.
Bei normalen polarisationsoptischen Untersuchungen wird das Licht durch einen feststehenden Polarisator geleitet. Der Gangunterschied oder die Maxima- und Minimastellungen werden durch Drehen des Analysators, der sich im Lichtweg oberhalb des Objektes befindet, ermittelt.
Bei der beschriebenen Meßeinrichtung ist während der Messungen der Analysator in fixierter Stellung.
Mögliche Vibrationen, die bei Drehung des Analysators auf das Mikroskopstativ übertragen werden, führen auch zu einer Unruhe des Meßfeldes des Photomultipliers. Nicht gewünschte Randpartien neben dem eigentlichen Meßfeld werden dann mit in den Meßwert einbezogen und führen zu einer Verfälschung desselben.

Bei der Anlage PAOLA ist der Polarisator unäbhängig vom Mikroskopstativ. Der Antriebsmotor für den Polarisator kann keine Vibrationen auf das Meßfeld übertragen. Das Meßfeld bleibt konstant.

Es wird nicht nur bei einer Wellenlänge gemessen, sondern bei einer Meßreihe wird das gesamt mögliche Spektrum des Monochromators durchlaufen. Bei jedem Wellenlängenschritt werden Polarisator und Analysator um 360 Grad gegeneinander gedreht. Die Verschiebung der Polarisationsebene kann ebenfalls indirekt an den verschobenen Positionen der einzelnen Maxima und an den Absorptionswerten im Photomultiplier erkannt werden.

Bei einem Durchlauf entstehen charakteristische Absorptionskurven für jeden Stoff.
Durch Korrektur der Meßwerte (s. Kapitel 8.) entstehen reale Meßwerte, die von Einflußgrößen des Systems frei sind. Hiermit stehen Vergleichsmöglichkeiten verschiedenster Meßreihen unter der Voraussetzung zur Verfügung, daß die standardisierten Bedingungen eingehalten werden (Temperatur, Photomultiplierverstärkung, Objektiv, Meßfeldblende etc.). Durch Abspeicherung dieser Meßwerte auf geeignete Datenträger können jederzeit unterschiedliche Meßreihen verglichen werden. Dieses führt bei einem genügend großen Datenvorrat dazu, daß polarisierende Substanzen automatisch identifiziert werden können.
Somit ist auch die Möglichkeit der Diagnosestellung in histologischen Präparaten gegeben.
Der Einsatz der elektronischen Steuerung und Auswertung führt zu Meßergebnissen, die unbeeinflußt vom jeweiligen Untersucher ausfallen. Im Rechnerprogramm ist die Reihenfolge der einzelnen Schritte zum Erhalt der Meßkurven festgelegt. Damit ist eine Vergleichbarkeit verschiedener Meßdurchläufe durchführbar.

Die bis jetzt gewonnen Erfahrungen mit der Meßeinrichtung PAOLA haben gezeigt, daß einige technische Verbesserungen den Meßablauf beschleunigen können.
So wird z.B. die Verwendung einer Floppy Disk den gesamten Meßablauf erheblich verkürzen (S. Kap. 8.3). Gleichzeitig

wird durch die Verwendung der Floppy Disk der automatische Vergleich von Messungen verschiedener Meßreihen ermöglicht. Bei entsprechend großem Datenspeicher ist eine automatische Diagnoseausgabe,beispielsweise bei polarisationsoptischen Bindegewebsuntersuchungen, durch Meßwertvergleich denkbar.

Eine weitere Verbesserung der Qualität des monochromatischen Lichtes ist mit einem durchstimmbaren Laser zu erreichen (s. Kap. 5.4).
Serienuntersuchungen an Bindegewebe können die pathologischen Veränderungen im Sinne der Kollagenosen erfassen. Dabei ist es möglich, diese Untersuchungen an routinegefärbten histologischen Präparaten durchzuführen.

Die Qualitätsprüfung von chirurgischem Nahtmaterial anhand dessen doppelbrechender Eigenschaften ist eine weitere Einsatzmöglichkeit dieser Meßeinrichtung. Dabei können sowohl Alterungsprozesse des Nahtmaterials als auch Dehnungs- und Entdehnungsprozesse polarisationsoptisch untersucht werden (s. Kap. 4.6).

Ein weiterer Anwendungsbereich serieller, reproduzierbarer, polarisationsoptischer Untersuchungen liegt in der Analyse von Kristallen, beispielsweise in der Mineralogie.
Dabei sind mit der Meßeinrichtung PAOLA Untersuchungen im Durchlicht und Auflicht möglich.

Im medizinischen Sektor sind auf dem Gebiet der Harnsteinanalyse rasche Aussagen über die Zusammensetzung der Steine zu erhalten.

Desgleichen kann bei der Analyse von Gallensteinen die Frage nach der Indikation zur medikamentösen Auflösung der Steine ohne aufwendige chemische Steinanalyse beantwortet werden. Dieses ist besonders dann wesentlich, wenn bei Verbleib kleiner, solitärer Konkremente in den Gallenwegen nach einer Cholezystektomie entschieden werden muß, ob diese Konkremente durch medikamentöse Auflösung abgangsfähig gemacht werden können.
Die eindeutige Identifikation polarisierender Substanzen in Körperflüssigkeiten und Geweben ohne zeitraubende chemische Analyse ist auch in der Gerichtsmedizin von großem Nutzen.

Eine interessante Einsatzmöglichkeit der Anlage PAOLA findet sich bei der Qualitätsprüfung von Kunststoffen, wobei einerseits deren Belastungsfähigkeit bei Biegung und Zug, andererseits aber auch die Qualität von Kunststoffschweißnähten geprüft werden kann. Neben Kunststoffen können aber auch biologische Faserstoffe wie oben erläutert Zug- und Dehnungsuntersuchungen unterzogen werden. Zu denken ist dabei an die Faserstoffe Kollagen, Retikulin, Keratin o.ä..

Andererseits kann auch die Qualität von Kunststoffschweißnähten geprüft werden. Die Qualität von Klebungen mit Kunststoffklebern oder Fibrinklebern in Geweben kann ebenfalls getestet werden. Nach ZOLTAN (1980) werden die biologischen Kleber beim Wundverschluß zur Erzielung optimaler kosmetischer Narbenverhältnisse eine zunehmende und bedeutsame Rolle in der Chirurgie einnehmen.

12. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wird berichtet über das Meßverfahren PAOLA (Polarisationsoptische Automatische On-line Lichtanalyse). Es ist ein Meßverfahren für die histologische, biomechanische und kristallographische Untersuchung von Geweben und Körperflüssigkeiten. Das System PAOLA führt mikrocomputergesteuert polarisationsoptische Untersuchungen automatisch, standardisiert und reproduzierbar durch.

Diese Meßeinrichtung erfaßt die Polarisationseffekte polarisierender Substanzen über den gesamten Wellenlängenbereich des in einem LEITZ Geradsichtspiegelmonochromator erzeugten Lichtes. Das Datenverarbeitungs- und Steuersystem wurde für die Anlage PAOLA speziell entwickelt.

Monochromatisches Licht wird in einem drehenden Polarisator linear polarisiert. Dieses Licht wird durch das unter dem Mikroskopobjektiv liegende Präparat gesandt. Danach wird das Licht durch den festgestellten Analysator dem elektronischen System eines Photomultipliers zugeleitet.
Die Übermittlung der Daten vom Sekundärelektronenvervielfacher erfolgt direkt und synchron (on line). Über einen Mikroprozessor wird ein Schrittmotor angesteuert, der die Wellenlängenänderung des Monochromators bewirkt. Über Näherungsiniatoren wird der Rechner veranlaßt, nur bei bestimmten Winkelstellungen des Polarisators Messwerte aus dem Photomultiplier abzufragen (Prinzip des Winkelcodie-ers rers). Auf diese Weise wird gewährleistet, daß verschiedene Meßkurven exakt verglichen werden können, während sich auf einem X-Y-Schreiber bei Motorungleichlauf Verschiebungen

auf der X-Achse ergeben und eine Vergleichbarkeit verschiedener Meßdurchläufe nur mit großer Ungenauigkeit möglich ist.
Sämtliche Meßwerte können nach Maßgabe der Programmierung (software) des Mikrocomputers numerisch oder graphisch ausgewertet und über einen Drucker aufgezeichnet werden. Die gleichzeitige Sicherung der Daten in einer Magnetbandspeichereinheit z.B. zur Sicherung einer Datenbank oder zum Vergleich verschiedener Meßreihen ist gegeben.

Das Funktionsprinzip der Anlage PAOLA wird am Beispiel der polarisationsoptischen Untersuchung des Benzils demonstriert.

Die Anlage PAOLA enthält folgende Neuentwicklungen:

- Der Polarisator ist drehbar und wird von einem Motor angetrieben. Der Analysator befindet sich in einer festgestellten Position.
- Der Polarisator hängt in einer freitragenden Halterung. Vibrationen durch den Antriebsmotor werden nicht auf das Mikroskop übertragen.
- Näherungsiniatoren in der Polarisatorhalterung geben nach dem Prinzip des Drehwinkelgebers Impulse für die Meßwertabfragung aus dem Photomultiplier.
- Die Polarisatorhalterung ist an einen speziellen Antriebsadapter angeflanscht.
- Eine justierbare Halterung, die kompatibel zum LEITZ Forschungsmikroskop Orthoplan ist, wurde gebaut.

ANHANG

Tab. 01 SCHRITTMOTORDATEN

Motortyp	Berger 2-Phasenschrittmotor RDM 65/4
Schrittwinkel	22,5 Grad
Maximales Drehmoment	7,8 Ncm
Schritte/Umdrehung	16
Positionierfehler (nicht addierend)	+/- 5%
Haltemoment, erregt	80 gcm^2
Stromversorgung	24 Volt über stabilisierte Philips - Einschubkarte
Ansteuerung	Berger Steuerkarte D 059 mit Anschlußmöglichkeit für externen Impulsgeber
Maximale Start-Stop-Frequenz	0.25 KHZ
Maximale Start-Stop-Drehzahl	930 min^{-1}

Tab. 02 VERGLEICHSTABELLE DER WINKELSCHRITTE ZU DEN WELLENLÄNGENSKALEN MIT KORREKTURANGABEN EINZELNER WELLENLÄNGEN

Schritt	Winkel (°)	Glasprisma Ablesung	Quarzglasprisma Ablesung	(nm) Sollwert
001	001.40625	000.0	000.0	
002	002.81250	000.0	000.0	
003	004.21875	000.0	200.4	
004	005.62500	000.0	201.2	
005	007.03125	000.0	201.9	
006	008.43750	000.0	202.2	
007	009.84375	000.0	203.0	
008	011.25000	000.0	203.5	
009	012.65625	370.0	204.1	
010	014.06250	370.4	204.6	
			204.8	206.2
011	015.46875	371.0	205.4	
012	016.87500	371.8	205.9	
013	018.28125	372.4	206.3	
014	019.68750	373.0	207.0	
015	021.09375	373.8	207.6	
016	022.50000	374.5	208.2	
017	023.90625	375.2	208.8	
018	025.31250	375.8	209.5	
019	026.71875	376.6	210.1	
020	028.12500	377.4	210.4	
021	029.53125	378.0	210.7	
022	030.93750	378.8	211.0	
023	032.34375	379.8	211.4	
024	033.75000	380.4	211.7	
025	035.15625	381.0	212.0	
026	036.56250	381.8	212.3	
			212.4	213.9
027	037.96875	382.4	212.7	
028	039.375	383.0	212.9	
029	040.78125	383.9	213.4	
030	042.18750	384.6	213.6	
031	043.59375	385.3	214.0	
032	045.00000	386.0	214.4	
033	046.40625	386.9	214.7	
034	047.81250	387.8	215.0	
035	049.21875	388.5	215.3	
036	050.62500	389.3	215.7	
037	052.03125	390.0	216.0	
038	053.43750	391.0	216.4	
039	054.84375	391.8	216.7	
040	056.25000	392.5	217.1	
041	057.65625	393.3	217.5	
042	059.06250	394.0	217.9	
043	060.46875	395.0	218.3	
044	061.87500	396.0	218.6	
045	063.28125	397.0	219.0	
046	064.68750	397.9	219.4	
047	066.09375	398.9	219.7	
048	067.50000	399.9	220.2	
049	068.90625	400.9	220.5	

Schritt	Winkel (°)	Glasprisma Ablesung	Quarzglasprisma Ablesung	(nm) Sollwert
050	070.31250	401.8	221.0	
051	071.71875	402.8	221.4	
052	073.12500	403.8	221.8	
		404.3		404.7
053	074.53125	404.8	222.3	
054	075.93750	405.7	222.5	
055	077.34375	406.5	223.0	
056	078.75000	407.6	223.5	
057	080.15625	408.6	223.9	
058	081.56250	409.5	224.3	
059	082.96875	410.6	224.8	
060	084.37500	411.4	225.4	
061	085.78125	412.5	225.8	
062	087.18750	413.5	226.2	
063	088.59375	414.4	226.9	
064	090.00000	415.6	227.0	
065	091.40625	416.6	227.4	
066	092.81250	417.5	227.9	
			227.9	228.8
067	094.21875	418.5	228.4	
068	095.62500	419.5	228.8	
069	097.03125	420.8	229.3	
070	098.43750	421.8	229.8	
071	099.84375	422.8	230.3	
072	101.25000	423.8	230.8	
073	102.65625	425.0	231.3	
074	104.06250	426.0	231.8	
075	105.46875	427.0	232.3	
076	106.87500	428.0	232.8	
077	108.28125	429.5	233.5	
078	109.68750	431.0	234.0	
079	111.09375	432.0	234.5	
080	112,50000	433.0	235.0	
081	113.90625	434.0	235.6	
082	115.31250	435.5	236.2	
		436.0		435.8
083	116.71875	437.0	236.8	
084	118.12500	438.0	237.3	
085	119.53125	439.2	237.8	
086	120.93750	440.6	238.5	
087	122.34375	442.0	239.0	
088	123.75000	443.3	239.6	
089	125.15625	445.0	240.2	
090	126.56250	446.0	240.8	
091	127.96875	447.5	241.4	
092	129.37500	449.0	242.0	
093	130.78125	450.0	242.5	
094	132.18750	452.0	243.2	
095	133.59375	453.0	243.8	
096	135.00000	455.0	244.3	
097	136.40625	457.0	245.0	
098	137.81250	458.0	245.5	
099	139.21875	459.0	246.2	
100	140.62500	462.0	246.8	

Schritt	Winkel (°)	Glasprisma Ablesung	Quarzglasprisma Ablesung	(nm) Sollwert
101	142.03125	463.0	247.3	
102	143.43750	464.0	248.0	
103	144.84375	466.0	248.5	
104	146.25000	467.5	249.2	
		467.8		468.0
105	147.65625	469.0	249.8	
106	149.06250	472.0	250.5	
107	150.46875	473.0	251.0	
108	151.87500	474.0	251.7	
109	153.28125	477.0	252.3	
110	154.68750	478.0	252.9	
111	156.09375	480.0	253.5	
			253.9	253.7
		481.5		481.0
112	157.50000	483.0	254.0	
113	158.90625	484.0	254.8	
114	160.31250	485.0	255.2	
115	161.71875	487.5	256.0	
116	163.12500	488.0	256,5	
117	164.53125	491.0	257.2	
		491.9		491.6
118	165.93750	492.5	257.9	
119	167.34375	495.0	258.5	
120	168.75000	496.5	259.1	
121	170.15625	498.5	260.0	
122	171.56250	501.0	260.5	
123	172.96875	504.0	261.2	
124	174.37500	505.0	262.0	
125	175.78125	507.5	262.5	
126	177.18750	509.0	263.1	
127	178.59375	512.0	264.0	
128	180.00000	514.0	264.9	
129	181.40625	518.0	266.3	
130	182.81250	521.0	267.2	
131	184.21875	523.0	268.0	
132	185.62500	526.0	269.0	
133	187.03125	528.0	269.8	
134	188.43750	531.0	270.8	
135	189.84375	533.0	271.8	
136	191.25000	535.0	272.8	
137	192.65625	538.0	273.6	
138	194.06250	540.5	274.6	
			274.8	275.3
139	195.46875	543.0	275.5	
140	196.87500	545.0	276.5	
		546.0		546.1
141	198.28125	548.0	277.5	
142	199.68750	552.0	278.5	
143	201.09375	555.0	279.6	
144	202.50000	557.0	280.8	

Schritt	Winkel (°)	Glasprisma Ablesung	Quarzglasprisma Ablesung	(nm) Sollwert
145	203.90625	560.0	281.5	
146	205.31250	564.0	282.8	
147	206.71875	567.0	283.8	
148	208.12500	570.0	285.0	
149	209.53125	573.0	286.0	
150	210.93750	577.0	287.0	
		579.0		579.0
151	212.34375	580.0	288.0	
152	213.75000	584.0	289.2	
153	215.15625	587.0	290.0	
154	216.56250	590.0	291.2	
155	217.96875	595.0	292.3	
156	219.37500	598.0	293.4	
157	220.78125	603.0	294.5	
158	222.18750	608.0	295.8	
			296.6	296.7
159	223.59375	610.0	296.8	
160	225.00000	614.0	298.0	
161	226.40625	619.0	299.0	
162	227.81250	623.0	300.4	
			301.6	302.2
163	229.21875	633.0	301.8	
164		637.0		636.2
164	230.62500	638.0	304.0	
165	232.03125	640.0	305.2	
		643.5		643.8
166	233.43750	646.0	306.5	
167	234.84375	650.0	308.0	
168	236.25000	655.0	309.5	
169	237.65625	658.0	311.0	
170	239.06250	663.0	312.3	
			312.6	313.2
171	240.46875	668.0	314.0	
172	241.87500	672.0	315.5	
173	243.28125	677.0	317.0	
174	244.68750	682.0	318.5	
175	246.09375	687.0	320.0	
176	247.50000	690.2	322.0	
177	248.90625	697.0	323.0	
178	250.31250	702.0	324.5	
179	251.71875	708.0	326.0	
180	253.12500	715.0	328.0	
181	254.53125	722.0	329.5	
182	255.93750	730.0	331.0	
183	257.34375	738.0	332.5	
			333.5	334.15
184	258.75000	745.0	334.5	
185	260.15625	752.0	336.2	
186	261.56250	760.0	338.0	
187	262.96875	770.0	340.0	
188	264.37500	778.0	342.4	
189	265.78125	787.0	344.0	
190	267.18750	795.0	346.0	

Schritt	Winkel (°)	Glasprisma Ablesung	Quarzglasprisma Ablesung	(nm) Sollwert
191	268.59375	807.0	348.5	
192	270.00000	815.0	351.0	
193	271.40625	825.0	352.5	
194	272.81250	830.0	354.0	
195	274.21875	845.0	357.0	
196	275.62500	855.0	358.0	
197	277.03125	868.0	361.0	
			364.0	365.0
198	278.43750	880.0	366.0	
199	279.84375	890.0	367.5	
200	281.25000	900.0	368.0	
201	282.56625	910.0	371.0	
202	284.06250	925.0	372.5	
203	285.46875	940.0	377.0	
204	286.87500	955.0	378.0	
205	288.28125	970.0	382.5	
206	289.68750	980.0	385.0	
207	291.09375	995.0	388.0	
			391.4	390.6
208	292.50000	1020.0	392.0	
209	293.90625	1040.0	395.0	
210	295.31250	1050.0	397.5	
211	296.71875	1065.0	402.0	
212	298.12500	1075.0	405.0	
			405.1	404.7
213	299.53125	1100.0	407.5	
214	300.93750	0000.0	410.0	
215	302.34375	0000.0	415.0	
216	303.75000	0000.0	418.0	
217	305.15625	0000.0	423.0	
218	306.56250	0000.0	428.0	
219	307.96875	0000.0	435.0	
220	309.37500	0000.0	440.0	
221	310.78125	0000.0	000.0	
222	312.18750	0000.0	000.0	

236
.
. Umschwenken der Prismen
.
252

256 360.00000 0000.0 000.0

Sollwertangaben entsprechend der Korrektionstabelle für den Geradsichtspiegelmonochromator Nr.431 der Ernst Leitz GmbH, Wetzlar, 1977

Tab. 03 EIGENSCHAFTEN DER PHOTOKATHODE S 20

Kathodenmaterial	Na_2KSb (Cs) eine Verbindung aus Natrium Kalium Cäsium Antimon
Fenstermaterial	Borosilicat
Kathodenempfindlichkeit bei der Wellenlänge maximaler Quantenausbeute	75 mA/W (P)
Wellenlänge der maximalen Antwort bzw. maximaler Quantenausbeute	390 (B/S) bis 410 nm (P)
Maximale Quantenausbeute	22% (B/S)
Langwellige Grenze der Empfindlichkeit	850 nm (B/S)
Kathodendunkelstrom bei	
+ 20 Grad Celsius	10^{-16} A/cm^2 (P)
- 20 Grad Celsius	5×10^{-19} A/cm^2 (P)

(P) nach Piller, Horst; Microscope Photometry, Springer Verlag Berlin/New York 1977

(B/S) nach Bergmann/Schaefer; Physik Band II, 6. Aufl., Verlag de Gruyter Berlin 1970

ERKLÄRUNGEN VON FACHBEGRIFFEN

- Analog-Digital-Umsetzer (Wandler) / A-D-Wandler
  Ein Gerät, das die Verbindung zwischen Meßgeräten und den digitalen Anlagen herstellt. Ein A-D-Wandler nimmt eine Information in Form einer physikalischen Meßgröße auf und gibt eine Information über die Eingangsgröße in Form einer Zahl weiter. Die Eingangsgröße ist analog, die Ausgangsgröße ist digital.

- ASCII - Zeichensatz
  Abk. für American Standard Codes For Information Interchange. Tastatur des Rechners nach den Normen des American National Standards Institute.

- BASIC
  Abk. für Beginners All Purpose Symbolic Instruction Code Basic ist eine viel verwendete Programmiersprache für Mikrocomputer. Sie ist eine dem FORTRAN ähnliche Dialog- bzw. Programmiersprache. Basic wurde 1965 im Dartmouth College (USA) unter der Leitung von J.G. Kemeny und T.E. Kurtz entwickelt.

- Brewstersches Gesetz (1813)
  Der für eine maximale Polarisation des Lichtes durch Reflexion erforderliche Polarisationswinkel ist nach Brewster durch die Brechzahl des benutzten Glases bedingt. Der Polarisationswinkel ist derjenige Winkel, dessen Tangens gleich der Brechzahl des reflektierten Stoffes ist.

- Bit

  Binary digit (binäre Ziffer)

- Byte

  ist eine Folge von aneinandergereihten binären Ziffern (meist 8 bit), die als Einheit angesehen werden.

- Daten

  sind zur Verarbeitung im Rechner bestimmte Informationen. Daten sind eine Darstellung von Fakten, Konzepten oder Befehlen in einer formalisierten Weise, die sich für die Kommunikation, Interpretation oder maschinelle Mitteilung eigenen.

- Datasette

  speichert Daten und Programme jeder Art. Die Daten bzw. Programme können mit Namen bezeichnet werden und gezielt abgerufen werden.

- Datenflußplan

  nennt die Daten, die verarbeitet werden sollen und die Datenträger. Er beschreibt, über welche Stationen die Daten den Rechner durchlaufen (Datenfluß).

- Datenverarbeitung, DVA,

  ist der Prozeß, bei dem aus gegebenen Zeichenfolgen mit Hilfe einer eindeutigen Verarbeitungsvorschrift (Programm) in einer endlichen Zahl von Schritten bestimmte Zeichenfolgen als Lösung gewonnen werden.

- Digital-Analog-Umformer / D-A-Wandler
  ist ein Gerät, das die Verbindung zwischen der digitalen Anlage und peripheren analogen Geräten herstellt. Die Ausgangsgröße ist analog. (s.a. A-D-Wandler)

- Digit(al)
  ist ein Sammelbegriff aller Methoden, die eine unbekannte Größe durch Zählung ermitteln und in Ziffernfolge darstellen.

- Digital-in
  ist ein Impuls oder sind Daten, die dem Rechner direkt digital oder nach Umwandlung eines analogen Impulses in ein digitales Signal zugeführt werden. In der Anlage PAOLA werden über digital-in die Impulse zur Meßwertabfragung aus dem Photomultiplier gegeben.

- Digital-out
  ist ein vom Rechner ausgegebener Impuls, der direkt digital arbeitende Geräte oder analog arbeitende Geräte nach Umwandlung ansteuern kann.

- EBCDI - Code
  Abk. für Extended Binary Coded Decimal Interchange Code. Dies ist ein 8-stelliger Kode. (s.a. byte)

- EDV / Elektrische Datenverarbeitungsanlage
  S. Datenverarbeitung

- Floppy Disk

ist eine Magnetspeicherplatte, auf der bis zu 4 Mill. Informationseinheiten (Bits) oder 500 000 Bytes (= "Wörter" aus jeweils 8 Bits) gespeichert werden können. Mehrere Speicherplatten können in einer Speichereinheit untergebracht werden.
Die Floppy Disk arbeitet mit einer wesentlich höheren Speicher- und Übertragungsgeschwindigkeit als die Datasette.

- Hardware

engl., sind alle technisch physikalischen Teile einer Datenverarbeitungsanlage unter dem speziellen Gesichtspunkt der unveränderlichen, konstruktionsbedingten Eigenschaften. Es sind die durch die Technik des Rechners zur Verfügung gestellten Möglichkeiten. Bei der Anlage PAOLA gehören zur Hardware: Rechner, Speicher, Tastatur, Bildschirm, Drucker, Versatile Interface Adapter, Näherungsschalter, Ansteuerelektronik der Schrittmotoren etc.

- IC

engl., Abk. von integrated circuit = integrierte Schaltung

- Interface

Bei der Kopplung eines Rechners mit Geräten in der Peripherie versteht man unter einem Interface die konstruktiven, elektrischen und logischen Bedingungen zur Gestaltung der Schnittstellen und der entsprechenden Schaltungsgruppen und Elemente im Ein/Ausgabe-Kanal des Rechners.

- LED

  engl. Abk. von light emitting diode = Leuchtdiode

- Mikrocomputer

  sind integrierte Schaltungen, die funktionell einem Computer entsprechen. Sie enthalten eine Zentraleinheit, einen Programm- und Datenspeicher und Ein- und Ausgabe.

- Näherungsiniator/ Näherungsschalter

  s. Kap.5.7.5.

- Off-line

  Die Daten aus der Peripherie gelangen nicht direkt in die Zentraleinheit. Es werden z.B. Daten erst auf Lochkarten übertragen und dann über ein Lesegerät dem Rechner zugeführt.

- On-line

  Die Daten gelangen direkt ohne Zwischenspeicherung vom Peripheriegerät zur Zentraleinheit. Im Moment der Entstehung bzw. Abfragung werden die Meßwerte in der Anlage PAOLA direkt zum Rechner weitergeleitet.

- Peripherie

  Peripherie bzw. Geräte in der Peripherie sind solche Geräte, die von der Zentraleinheit bedient werden, oder die mit dieser kommunizieren. Bei der Anlage PAOLA gehören hierzu u.a. Drucker, Datasette, Näherungsschalter.

- Programm

  Es legt eine Reihe von Anweisungen genau fest und zwar: Was der Rechner mit den Daten tun soll, in welcher Reihenfolge er es tun soll und wie die Ein- und Ausgabe erfolgen soll. Das Programm wird entsprechend der unterschiedlichen Rechnertypen in der Programmiersprache abgefaßt. Der Mikrocomputer der Anlage PAOLA kann in der Programmiersprache Basic, aber auch in der Maschinensprache Assembler programmiert werden. Beim Programmieren in der Maschinensprache kann kompakter progammiert werden, so daß mehr Anweisungen in dem Programmspeicher Platz finden.

- Software

  engl., unter Software werden alle nicht apparativen Funktionsbestandteile der EDV verstanden. Hierzu gehören das Programm mit seinen Anweisungen.

- Programm-Ablaufplan

  Er nennt die Anweisungen, die zur Verarbeitung der Daten notwendig sind. Er beschreibt die Reihenfolge, in der diese Anweisungen ausgeführt werden müssen (Programmablauf).

- VIA / Versatile Interface Adapter

  S. Kap. 5.10.1.)

- Zentraleinheit

  sie ist das Herzstück einer Datenverarbeitungsanlage. Die Zentraleinheit (der Rechner) kommuniziert mit den Geräten der Peripherie.

LITERATURVERZEICHNIS

1. Allen, R. D., I. Brault, R. D. Moore: A new method of polarizations microscopic analysis. J. Cell. Biol. 18, 223 (1963).

2. Allen, R. D., R. M. Zeh: Image contrast and phasemodulated light methods in polarization und interference microscopy. In: Optical and electron microscopy. Vol.1 1st Ed. Academic Press, London 1966.

3. Bartholinus, E.: Experimenta crystalli islandici diaclastici quibus mira et insolita refractio detegitur. Hafniae Sumptibus Danielis Paulli Reg. Bibl. Anno 1670.

4. Berger / Lahr (Firmenbezeichnung) Druckschrift 103/4. Jan. 1979.

5. Bergmann, M., W. Schäfer: Physik. Bd. II 6. Aufl., De Gruyter Verlag, Berlin 1970.

6. Beyer, H.: Lehrbuch der organischen Chemie. 15./16. Aufl. Hirzel Verlag, Leipzig 1968.

7. Brewster, H.: On the laws which regulate the polarization of light by refexion from transparent bodies (1815). In: A letter addressed to the Right Hon. Sir Joseph Banks. reprinted from Phil.Trans. 105, 125-130, 158-159, reprinted 1915.

8. Chip. Zeitschrift für Mikrocomputer-Technik. Vogel Verlag, Würzburg V,1979 und VIII, 1979.

9. Ditchburn, R.W.: Light. Vol. 1, 3rd ed., Academic Press, London 1976.

10. Ebner, V.v.: Über eine optische Reaktion der Bindegewebssubstanzen auf Phenole. Sitzungsbereichte Akad. Wiss. Wien, math.-naturwiss. Kl. 103, Abt. III, 162-188, Wien 1894.

11. Efector (Firmenbezeichnung): Elektronische Annäherungsschalter. IFM Electronic GmbH, Essen Werkschrift D 779/8103.

12. Fagan, T.J., M.D. Lidsky: Compensated light microscopy using cellophane adhesive tape. Arthritis Rheum., 17 (3), USA 1974.

13. Fanal (Firmenbezeichnung): Näherungsschalter. Information 280 g. Metzenauer & Jung, Wuppertal 1981.

14. Feldman, J.A.: Programmiersprachen. Spektrum der Wissenschaft, 2 , 1980.

15. Habermehl, A., E.H. Graul: Kernspinresonanz-Tomographie. Deutsches Ärzteblatt 79, 30, 17-28 (1982).

16. Hecht, E., A. Zajac: Optics. Addison-Wesley, Massachusetts 1974.

17. Hicking, W.: Polarisationsmikroskopische Harnsteinanalyse. In: Vahlensieck, W.: Urolithiasis. 1.Aufl. Springer, Berlin 1979.

18. Huygens, C.: Treatise an light (1690). Dover publications, New York 1962 (Reprint).

19. Keitz, H.A.E.: Lichtbrechungen und Lichtmessungen. 1. Aufl. Philips, Hamburg 1951.

20. Klöckner-Moeller (Firmenbezeichnung): Näherungsschalter. Werkschrift W136-7028 (1/80), FLS/Dm, Bonn 1981.

21. Kuntzel, A.: Die Umkehrung der Doppelbrechung der kollagenen Faser durch einige vegetarische Gerbstoffe. Collegium 623, 1925.

22. Kupka, I.: Dialogsprachen. 1.Aufl. Teubner, Stuttgart 1975.

23. Leitz (Firmenbezeichnung): Druckschrift 621-20.

24. Leitz (Firmenbezeichnung): Druckschrift 27701-621R.

25. Leitz (Firmenbezeichnung): Druckschrift 25702-621.

26. Malus, M.: Sur une propriété de la lumière reflechie. Reprinted from: Mem. Phys. Chim., Soc. d'arcueil, 2 1809.

27. Missmahl, H.P., M. Hartwig: Polarisationsoptische Untersuchung an der Amyloidsubstanz. Virch.Arch.,324, 489 (1953).

28. Missmahl, H.P.: Doppelbrechung der retikulären Faser und sich hieraus ergebener Nachweise von gerichtet eingelagerten Lipiden in die retikuläre Faser. Z.Zell Forsch., 45, 612 (1957).

29. Neumüller, O.-A.: Römpps Chemie Lexikon. 8.Aufl. Franckh, Stuttgart 1974.

30. Newton, I.: Optics. 4th ed. London 1730.

31. Nicol, W.: On a method of so far increasing the divergency of the two rays in calcareons spar, that only one image may be seen at the time. Reprint from Edinburgh J. Phil., 6, 83f. (1828).

32. Niebuhr, J.: Physikalische Meßtechnik. Bd.2 . Meßprinzipien und Meßverfahren. 1. Aufl. Oldenbourg, München/Wien 1977.

33. Piller, H.: Microscope photometry. 1st ed. Springer, Berlin/Heidelberg/New York 1977.

34. Pohl, R.W.: Einführung in die Physik. 12. Aufl. Springer, Berlin/Heidelberg/New York 1967.

35. Puchtler, H., F. S. Waldrop, L. S. Valentine: Polarization microscopic studies of connective tissue stained with picrosirius red FBA. Beitrag. Pathol., 150 (2), 174-187 (Nov. 1973).

36. Rammelsberg, D.: Winkelcodierer in der Industrie. Zeitschrift messen und prüfen/automatik. 4, 133f. (Mai 1978).

37. Romhanyi, G.: Über die submikroskopische Struktur des Amyloids. Zbl. Path., 80, 411 (1943).

38. Romhanyi, G.: Über topooptische Reaktionen und ihre Bedeutung für die submikroskopische Strukturforschung. in: Mettler, H. L.: Internationales Symposium: Die heutige Stellung der Morphologie in Biologie und Medizin, Berlin 1968. Abh. Dtsch. Akad. Wiss. , Berlin 1969.

39. Scheuner, G., J. Hutschenreiter: Polarisationsmikroskopie in der Histophysik. VEB G. Thieme, Leipzig 1972.

40. Scheuner, G., J. Hutschenreiter: Anwendung histoche-ischischer Methoden in der Polarisationsmikroskopie. Acta Histochem. (Suppl.), (Jena), 15, 329-48, Leipzig 1975.

41. Shewandrow, N. D.: Die Polarisation des Lichtes. Akademie Verlag, Berlin 1973.

42. Stiehl, P., A. Häntzschel, G. Herz: Zytodiagnostik des Gelenkergußes. Z. ges. inn. Med., 31, 623-30 (1976).

43. Stock, M., K. F. Stock: Basic assembler language (BAL). Verlag Dokumentation/Saur, Pullach 1973.

44. Straughan, B. P., S. Walker: Spectroscopy. 1st ed. vol. III, Chapman and Hall, London 1976.

45. Swann, M. M., J. M. Mitchison: Refinements in polarized light microcopy. J. Exp. Biol., 27, 226 (1950).

46. Taubert, G.: Über Anwendungsmöglichkeiten der Polarisationsmikroskopie in der pathologisch-histologischen Diagnostik. Zentralbibl. Allg. Pathol. 121, 323-339 (1977).

47. Theodorakis, P. S., E. E. Gdoutos: Matrix theory of photoelasticity. Springer, Berlin 1979.

48. Tonna, E. A., G. Hatzel: Age changes in the distribution of connective tissue elements in human material studied with polarized light microscopy. J. Gerontol. 22, 281 (1967).

49. Turck (Firmenname): Induktive Näherungsschalter. Hans Turck GmbH, Mülheim/Ruhr, Ausg. 12 (1979).

50. Vogel, P.: A textbook of practical organic chemistry. 4th ed, London/New York/Toronto 1974.

51. Westphal, W. H.: Physik. 25./26. neubearb. Aufl., Springer, Berlin/Heidelberg/New York 1970.

52. Wiener, O.: Die Theorie des Mischkörpers für das Feld der stationären Strömung. Abh. Sächs. Ges. Wiss. 32, 507-521 (1912).

53. Wolman, M.: On the use of polarized light in pathology. Pathol Ann. 5, 381-416 (1970).

54. Wolman, M.: Polarized light microscopy as a toll of diagnostic pathology. J. Histochem. Cytochem. 23 (1975).

55. Wolters, M. (Hrsg.): Der Schlüssel zum Computer. 1. Aufl. Econ, Düsseldorf/Wien 1969.

56. Zoltan, J.: Atlas der chirurgischen Schnitt- und Nahttechnik: zur Erzielung optimaler Wundverhältnisse. 2. Aufl. S. Karger Basel/München/Paris/London/Sydney 1980.

LEBENSLAUF

Name	Dresing
Vorname	Klaus
Geburtstag u. -ort	18. März 1952, Herford
Name des Vaters	Heinz Dresing
Beruf	Oberstudiendirektor
Name der Mutter	Hanna Dresing, geb. Frölke
Geschwister	eine Schwester, ein Bruder
Schulbesuch	1958 Grundschule der Stadt Vlotho 1962 Staatliches Wesergymnasium Vlotho (Neusprachliches Gymnasium f. Jungen u. Mädchen) Juni 1970 Ablegung der Reifeprüfung
Studium	WS 1970/71 - WS 1971/72 Psychologiestudium an der Christian-Albrechts-Universität Kiel SS 1972 - WS 1975/76 Studium der Biologie an der Universität Hamburg SS 1976 Aufnahme des Medizinstudiums an der Universität Düsseldorf März 1978 vorärztliche Prüfung März 1979 1.ärztliche Prüfung März 1981 2.ärztliche Prüfung April 1981 Beginn des Praktischen Jahres an den städtischen Krankenanstalten Krefeld April 1982 3. ärztliche Prüfung
Tätigkeiten im außerschulischen u. außeruniversitären Bereich	Gruppenleiter von Lehrgängen in der musischen Jugend- und Erwachsenenbildung Gruppenleiter in Deutsch-Französischen Jugendbegegnungen
Berufliche Tätigkeit	Seit Mai 1982 Assistenzarzt an der Chirurgischen Klinik - Chefarzt Prof. Dr. W. Stock - Marienhospital Düsseldorf
Berufsziel	Facharzt für Chirurgie

LEBENSLAUF

Name	Michael Bredenbröker
Geburtstag u. -ort	14. September 1952, Münster
Stand	verheiratet
Name der Ehefrau	Irene, geb. Wilde
Beruf	Lehrerin
Name des Vaters	Dr. med. Josef Bredenbröker
Beruf	Facharzt für Chirurgie
Name der Mutter	Hildegard, geb. Winkels
Beruf	Hausfrau
Geschwister	fünf
Schulbesuch	1959 Einschulung in die Grundschule 1963 Gymnasium Laurentianum Warendorf (Staatl. altsprachliches Gymnasium) Mai 1971 Ablegung der Reifeprüfung
Bundeswehr	4.01.72 bis 31.03.73 als Sanitäter
Studium	1973 Studium der Agrarwissenschaften in Kiel 1974 Studium der Wirtschaftswissenschaften u. der Geologie in Münster 1976 Studium der Humanmedizin an der Universität Gießen im 3. Fachsemester WS 76/77 Wechsel an die Universität Düsseldorf
Ärztl.Vorprüfung	6.04.1978
Ärztl.Prüf. 1.Teil	3.4.1979
Ärztl.Prüf. 2.Teil	7.04.1981
Praktisches Jahr	April 81 bis April 82 an den Städt. Krankenanstalten Krefeld
Ärztl.Prüf. 3.Teil	a) schriftl.Prüfung am 6.04.82 b) mündl. Prüfung am 20.04.82 c) Zeugnis v. 27.04.82
Beruflicher Werdegang	Seit 1.05.82 als Assistenzarzt in der Chirurgischen Abteilung des Marienhospitals Düsseldorf tätig.

DANKSAGUNG

Wir danken unserem Doktorvater, Herrn Professor Dr. med. G. Arnold, Direktor des Anatomischen Instituts - Lehrstuhl IV, für die Vergabe des Themas unserer Dissertation. Seine aufopfernde und verständnisvolle Unterstützung begleitete uns während der langen Zeit der Entwicklung und des Aufbaus der Meßeinrichtung PAOLA.

Weiteren Dank schulden wir der UNIVERSITÄT DÜSSELDORF sowie der DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT, die uns Geräte und Räumlichkeiten zur Verfügung stellten, aber auch die Arbeit mit finanziellen Mitteln förderten.